

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCIÓN DE POST-GRADO**



**PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA
DE ASFALTO CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA
GENERACIÓN**

**TESIS
PARA OPTAR EL GRADO DE:
MAESTRO EN TECNOLOGIA DE LA
CONSTRUCCIÓN**

HÉCTOR HUGO MIRANDA TEJADA

LIMA - PERU

2,007

A mis Maestros que me formaron con sólidos principios éticos, valores humanos y gestión del conocimiento, quienes ejercieron en mí la creatividad como un proceso de aprendizaje y mejora continua durante mis estudios de Maestría en Tecnología de la Construcción realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería "Alma Mater" de la Ingeniería Nacional.

CURSO	PROFESOR
ESTADO DEL ARTE EN LA TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN	Dr. ARRIETA FREYRE, JAVIER EDUARDO
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Dra. Ing. VÁSQUEZ ARRIETA, ELBA ROSAURA MSc. RIVERA FEIJOO, JULIO
CONSTRUCCIÓN PESADA	MSc. BARRANTES MANN, LUIS
ORGANIZACIÓN DE PROYECTOS TECNOLÓGICOS	Mag. Ing. QUEVEDO DE LA CRUZ ISAIÁS
MONTAJE INDUSTRIAL	Mag. Ing. UBILLUS CALMET, JUAN CARLOS
CREATIVIDAD E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA	Mag. Ing. ALVAREZ MERINO, JOSÉ CARLOS DANIEL
CONSTRUCCIÓN CON PREFABRICACIÓN	MSc. RIVERA FEIJOO, JULIO
CONSTRUCCIÓN CON PRE Y POSTENSADO	Mag. Ing. CARRILLO PARODI, DINA
OBRAS ESPECIALES	MSc. DOMÍNGUEZ DÁVILA LUIS
FORMULACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS	M.B.A. VÁSQUEZ ESPINOZA, ALFREDO
CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN	Dr. Ing. GOMEZ SÁNCHEZ SOTO, RUBEN
PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN	Dr. ARRIETA FREYRE, JAVIER EDUARDO
INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	Dr. ZAVALA TOLEDO, CARLOS
EDIFICACIONES DE ALTURA	MSc. RIVERA FEIJOO, JULIO
MATERIALES TRADICIONALES LOCALES	Mag. Ing. AMADO TRAVEZAÑO, JOSÉ LUIS
REHABILITACIÓN DE CONSTRUCCIONES Y ESTRUCTURAS	MSc. RIVERA FEIJOO, JULIO
OBRAS SUBTERRÁNEAS	Dr. AGREGA TURRIATE, CARLOS

Quien desee conocimiento debe esforzarse para adquirirlo.

RUSKIN

*Al Mag. Ing. **JUAN CARLOS UBILLUS**
CALMET Asesor de la presente Tesis, su
dedicación y alto sentido de responsabilidad ha
permitido la culminación del presente Proyecto.
Mi constante reconocimiento y gratitud por
brindarme sus acertados consejos y haberme
facultado compartir invalorable conocimientos y
experiencias sobre las Plantas de Asfalto en
Caliente, y de esta forma contribuir con el
desarrollo del Perú.*

*A la Universidad Nacional de Cajamarca, en la
persona del **Mag. Ing. CARLOS ESPARZA DÍAZ**
Decano de la Facultad de Ingeniería por todo el
apoyo brindado para lograr obtener el Grado
Académico de Magister en Ingeniería Civil.*

*A mis padres **Felipe y Victoria**, que me han amado sin límites y han entregado sus vidas por alcanzar sus sueños, me educaron con sólidos principios cristianos y valores humanos universales legándome una de las mayores herencias: el concepto altruista de la responsabilidad.*

*A mis hermanos **Alfredo, Frida, Javier, Patricia, y Marisol**; asimismo a mis familiares mi gratitud eterna, es preciso florecer allí donde Dios nos ha plantado.*

*A mi amada esposa **María del Socorro** y mis adoradas hijas **María Victoria y Milagros del Pilar** por su comprensión, paciencia, tolerancia y fundamentalmente porque el amor ayuda sin esperar recompensa. Donde hay fe, hay amor; donde hay amor, hay paz; donde hay paz, está Dios; y donde está Dios, hay felicidad.*

ÍNDICE GENERAL

PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO Y EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LAS PLANTAS DE ASFALTO EN CALIENTE

1.1	Planteamiento de la Hipótesis.....	1
1.2	Modelo Propuesto y Análisis de la Planta de Asfalto	3
1.3	Innovación de los Métodos para el Aseguramiento de la Calidad.....	6
1.4	Población y Muestra de las Plantas de Asfalto en el Perú.....	6
1.5	Instrumentos y Medios de Verificación.....	6
1.6	Historia del Asfalto.....	7
1.7	Los Primeros Usos del Asfalto.....	8
1.8	América y los Caminos Asfálticos.....	12
1.9	Cambios Técnicos en la Producción y Construcción.....	13
1.10	El Proceso de Obtención del Asfalto.....	16
	1.10.1 Definición.....	16
	1.10.2 Funciones.....	17
	1.10.3 Proceso de Refinación del Petróleo.....	17
1.11	Propiedades Físicas del Asfalto.....	28
1.12	Composición Química del Asfalto.....	31
1.13	Ensayos de Laboratorio para Asfaltos.....	33
	1.13.1 Ensayos a Cementos Asfálticos.....	35
	1.13.2 Ensayos a Asfaltos Diluidos.....	44
	1.13.3 Ensayos a Emulsiones Asfálticas.....	47
	1.13.4 Ensayos en Mezclas Asfálticas.....	51
1.14	Características y Tipos de Asfaltos.....	58
	1.14.1 Cemento Asfáltico.....	58
	1.14.2 Asfaltos Diluidos.....	63
	1.14.3 Emulsión Asfáltica.....	66
1.15	Los Asfaltos en el Perú.....	68
1.16	Estado del Arte de las Plantas de Asfalto en Caliente.....	71
1.17	Plantas Discontinuas, Gravimétricas o Batch Plants.....	73
	1.17.1 Descripción de los Principales Componentes.....	82
1.18	Plantas Asfalto en Caliente Continuas de Tambor Mezclador.....	97

2.1	Metodología SEIS SIGMA.....	103
2.1.1	Introducción.....	103
2.1.2	Las Siete Metamorfosis.....	107
2.1.3	Historia del Seis Sigma.....	108
2.1.4	¿Qué es Seis Sigma?.....	109
2.1.5	Niveles de Seis Sigma.....	111
2.1.6	Principios Básicos del Seis Sigma.....	112
2.1.7	Determinación del Nivel Sigma.....	113
2.1.8	Gráficos del Seis Sigma.....	117
2.1.9	Método de Resolución de Problemas.....	120
2.2	Aplicación del Seis Sigma a las Plantas de Asfalto con Mapa de Procesos.....	125
2.2.1	Indicadores de Medición de las Variables Críticas para el Control de los Procesos.....	128
2.2.2	Diagrama Causa Efecto del Problema Identificado: Segregación de la Mezcla Asfáltica.....	154
2.2.3	Diagrama de Pareto del Problema Principal: Segregación de la Mezcla Asfáltica.....	155
2.2.4	Variables Críticas Para el Monitoreo Sin Aplicar SEIS SIGMA (σ).....	156
2.2.5	Variables Críticas Monitoreadas Aplicando SEIS SIGMA (σ)...	160
2.3	Herramientas de Mejora Continua de los Procesos.....	164
2.4	Equipo de Mejora Continua con Seis Sigma.....	165
2.5	Cinturones y Líderes del Equipo de Mejora Continua.....	166
2.6	Estrategia de Implantación del Seis Sigma.....	167
2.7	Sistemas SCADA.....	169
2.7.1	Definición del Sistema Scada.....	169
2.7.2	Historia del Sistema SCADA.....	170
2.7.3	Necesidad de un Sistema Scada.....	173
2.7.4	Funciones del Sistema SCADA.....	173
2.7.5	Requisitos del Sistema SCADA.....	174
2.7.6	Prestaciones del Sistema SCADA.....	174
2.7.7	Módulos del Sistema SCADA.....	175
2.7.8	Justificación del Uso de SCADA.....	175
2.7.9	Arquitectura y Alcances del Sistema SCADA.....	176
2.8	Programación del Sistema SCADA con LabVIEW.....	178
2.8.1	Introducción a LabVIEW.....	178
2.8.2	Programación en LabVIEW.....	182
2.9	Aplicación del Sistema SCADA a las Plantas de Asfalto en Caliente.....	184
2.9.1	Acciones de Control.....	185
2.9.2	Capacidades Obtenidas con SCADA.....	186
2.9.3	Monitoreo de los Procesos con SCADA.....	187

CAPÍTULO III

MONTAJE DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE DE PRODUCCIÓN CONTINUA DE TAMBOR MEZCLADOR

3.1	Estado del Arte de las Plantas de Asfalto de Tambor Mezclador.....	190
3.2	Flujograma de los Procesos.....	203
3.3	Layout de una Planta de Asfalto en Caliente de Producción Continua de Tambor Mezclador.....	204
3.4	Desarrollo Tecnológico del Tambor Mezclador.....	205
3.5	Procedimiento de Montaje de la Planta de Asfalto.....	216
3.5.1	Organización para la Administración del Proyecto de Instalación de la Planta de Asfalto.....	216
3.5.2	Equipo Asignado al Proyecto.....	217
3.5.3	Exigencia del Cumplimiento de la Norma ISO 9000.....	218
3.5.4	Inspección en el Montaje de la Planta de Asfalto.....	219
3.5.5	Aplicación de los 8 Puntos del Plan de Montaje de la Planta de Asfalto.....	219
3.6	La Seguridad en el Montaje y Operación de la Planta de Asfalto.....	225

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN Y SELECCIÓN TÉCNICA DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

4.1	Formulación de las Alternativas Tecnológicas.....	258
4.2	Análisis Técnico Comparativo de Cada Alternativa Tecnológica.....	259
4.2.1	Batch Plant.....	259
4.2.2	Plantas con Tambores Mezcladores de Flujo Paralelo.....	264
4.2.3	Plantas con Tambores Mezcladores de ContraFlujo.....	271
4.2.4	Plantas con Tambores Mezcladores de ContraFlujo Double Barrel de ASTEC.....	277
4.2.5	Plantas con Tambor Mezclador de ContraFlujo Triple Drum de CMI.....	287
4.3	Matriz de Ponderación y Selección Técnica de la Mejor Alternativa Tecnológica.....	293
4.4	Descripción de la Alternativa Tecnológica de la Planta de Asfalto Seleccionada	296
4.5	Capacidades de Planta, Tiempo y Velocidad de los Procesos de la Mejor Alternativa Tecnológica.....	303
4.6	Facilidad de Transporte, Operación, Montaje y Mantenimiento de la Mejor Alternativa Tecnológica.....	310
4.6.1	Alternativas de Plantas Asfalto Six Pack de ASTEC.....	310
4.6.2	Facilidad de Transporte, Montaje y Operación de la	

	Turbo Six Pack de ASTEC.....	311
4.6.3	Cimentación y Nivelación de los Equipos.....	312
4.6.4	Tabiques de Acero Incorporados en las Tolvas.....	313
4.6.5	La Unidad de Alimentación de Agregados en Frío.....	315
4.6.6	Las Tolvas de RAP.....	317
4.6.7	El Tambor Mezclador Turbo Double Barrel.....	318
4.6.8	La Cámara de Filtros o Baghouse.....	321
4.6.9	El Ciclón.....	322
4.6.10	La Tolva de Compensación Autoerigible (SEB).....	323
4.6.11	Los Sistemas de Silos para Aditivos.....	325
4.7	Facilidad de Monitoreo de Procesos, Conexiones Eléctricas y Stock de Repuestos de la Mejor Alternativa Tecnológica.....	326
4.8	Calidad de la Mezcla Obtenida con Cada Alternativa Tecnológica.....	328
4.8.1	Materiales y Diseños de Mezclas.....	330
4.8.2	Operación de la Planta de Asfalto.....	332
4.8.3	Pavimentación en Carpetas Existentes.....	333
4.8.4	Pavimentación Continua y Compactación	334
4.8.5	Supervisión de Campo.....	335
4.8.6	Las Pruebas de Laboratorio.....	335
4.8.7	Control de Calidad.....	335
4.8.8	Capacitación y Entrenamiento.....	336
4.9	Localización de la Planta de Asfalto.....	336
4.9.1	Factores de Localización.....	338
4.10	Facilidad de Prearmado Mantenimiento y Servicio de Post Venta de la Mejor Alternativa Tecnológica.....	341

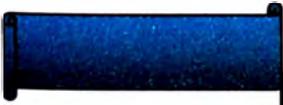
CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

5.1	Costo de la Inversión de la Planta de Asfalto.....	343
5.1.1	Costos de Adquisición de la Planta: Partes, Componentes, Equipos y Transporte.....	344
5.1.2	Costo de Montaje de la Planta de Asfalto.....	345
5.1.3	Costos de Puesta en Marcha de la Planta de Asfalto.....	356
5.2	Costo de Operación	364
5.3	Costo de Mantenimiento.....	367
5.4	Costo de Reposición o Reemplazo de Equipos.....	368
5.4.1	Vida Útil.....	368
5.4.2	Vida Económica.....	369
5.4.3	Depreciación.....	370
5.4.4	Valor Residual o de Rescate.....	373
5.5	Costo de Horario de Posesión y Operación.....	374

6.1	Generalidades.....	381
	6.1.1 Proyectos Aceptados.....	382
	6.1.2 Proyectos Postergados.....	382
	6.1.3 Proyectos Rechazados.....	382
6.2	Conceptos de Evaluación.....	383
6.3	Utilidad de la Evaluación del Proyecto de Inversión.....	384
6.4	Proceso de Evaluación de Proyectos.....	385
6.5	Evaluación Definitiva.....	386
6.6	Tipos de Evaluación de Proyectos.....	386
	6.6.1 Evaluación Social.....	387
	6.6.2 Evaluación Privada.....	390
6.7	Técnicas de Evaluación Temporales.....	396
6.8	Indicadores Para Evaluar Proyectos.....	397
	6.8.1 Valor Actual Neto (VAN).....	397
	6.8.2 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	403
	6.8.3 Razón Beneficio/Costo (B/C).....	406
	6.8.4 Flujo Anual Equivalente (FAE).....	410
6.9	Análisis del Mercado Nacional.....	411
	6.9.1 Diagnóstico para Carreteras.....	412
	6.9.2 Red Pavimentada.....	413
	6.9.3 Red No Pavimentada (Afirmada).....	416
6.10	Análisis y Proyección de la Demanda.....	419
6.11	Cuadros de Servicio de Deuda y Financiamiento.....	425
6.12	Tamaños de Planta Para Evaluación.....	426
6.13	Optimización Matemática del Tamaño de Planta.....	428
6.14	Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) de Cada Tamaño de Planta.....	430
6.15	Escenarios Presupuestales.....	439
	6.15.1 Escenarios Presupuestales de Carreteras.....	439
	6.15.2 Consideraciones Para la Elección del Escenario de Inversión...	441
6.16	Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) de Cada Tamaño de Planta	444
6.17	Cálculo de la Relación Beneficio / Costo, B/C de Cada Tamaño de Planta.....	444
6.18	Cálculo del Flujo Anual Equivalente (FAE) de Cada Tamaño de Planta.....	446
6.19	Período de Recuperación de la Inversión o Capital de Cada Tamaño de Planta.....	447
6.20	Análisis de Sensibilidad.....	448
6.21	Modelo de Simulación de Monte Carlo.....	458

7.1	La Evaluación de Impacto Ambiental.....	467
7.2	Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental.....	473
7.3	Ámbito de la EIA en el Ciclo del Proyecto.....	475
7.4	Normatividad Socio Ambiental en el Perú.....	477
	7.4.1 Normas de Carácter General.....	477
	7.4.2 Normas Técnicas Peruanas – Medio Ambiente.....	479
7.5	Aproximación General a las Metodologías en E.I.A.....	480
	7.5.1 Tipos Básicos de Métodos en E.I.A.....	481
	7.5.2 Metodologías de Matrices Interactivas.....	485
7.6	Mitigación del Impacto Ambiental Aplicando Tecnología del Baghouse o Cámara de Filtros.....	497
	7.6.1 Justificación.....	497
	7.6.2 El Proceso.....	497
	7.6.3 Equipo de Recolección de Polvos.....	499
	7.6.4 Sistemas de Recolección de Polvos del Secador.....	503
	7.6.5 Sistemas de Retorno de Polvos de Plantas Mezcladoras Continuas.....	512
	7.6.6 Sistemas de Retorno de Polvos de Plantas Mezcladoras Continuas Utilizando Tambores Mezcladores Convencionales.....	513
	7.6.7 Sistemas de Retorno de Polvos de Plantas Mezcladoras Continuas Utilizando Tambores Mezcladores de Contraflujo.....	514
7.7	Costos de las Medidas Para la Mitigación del Impacto Ambiental.....	520



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.....	521
RECOMENDACIONES.....	525



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA.....	527
-------------------	-----



ANEXOS

ANEXOS.....	534
-------------	-----



PLANOS

RELACIÓN DE PLANOS.....	576
-------------------------	-----

RESUMEN

Palabras claves: Plantas de asfalto, aseguramiento de la calidad, evaluación técnica, económica financiera y ambiental.

La presente Tesis de Maestría tiene como objetivo presentar el desarrollo de una metodología para optimizar la selección técnica, financiera y ambiental de una planta de asfalto en caliente con tecnología de última generación y de esta forma lograr producir asfalto de calidad.

El Capítulo I presenta aspectos relacionados con el asfalto desde su historia y los primeros usos, hasta el Estado de Arte de las plantas de asfalto y su evolución de las plantas de asfalto de producción discontinua y de las plantas de asfalto de producción continua de tambor mezclador.

El Capítulo II aborda el aseguramiento de la calidad, aplicando la metodología del six sigma, la adquisición de datos con SCADA y los instrumentos de la mejora continua. Se aplican las herramientas de la gestión de la calidad y la determinación de las variables críticas para realizar el monitoreo.

El Capítulo III desarrolla el procedimiento de montaje de una planta de asfalto de producción continua de tambor mezclador a partir de la aplicación de los 8 puntos del plan de montaje, layout, utilización de equipos e instrumentos y la seguridad.

En el Capítulo IV se procede a evaluar y seleccionar las alternativas tecnológicas a partir del análisis técnico comparativo de las alternativas tecnológicas de plantas de asfalto en caliente disponibles en el mercado mundial. Utilizamos matrices de ponderación para determinar las ventajas comparativas respecto a las capacidades de plantas, facilidades para el transporte, operación y montaje, calidad de mezcla y factores de localización.

El Capítulo V analiza los costos de inversión, posesión operación y mantenimiento: a partir del cálculo de la vida útil, vida económica, depreciación y del valor residual.

En el Capítulo VI estudiamos la evaluación económica y financiera considerando los principales criterios de evaluación como: Valor Actual Neto, Beneficio/Costo, Tasa Interna de Retorno para tres tamaños de plantas seleccionadas.

El Capítulo VII establece los criterios básicos para realizar la evaluación ambiental y la mitigación del impacto ambiental con el uso de equipos y tecnologías avanzadas como los sistemas de recolección de polvos y los baghouses. Finalmente según los resultados obtenidos la Planta de Asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 300 es la mejor alternativa tecnológica para el Perú.

ABSTRACT

Key words: Asphalt Plant, quality assure, technical, economic, financial and environmental evaluation

The present Thesis of Master Degree has aim to introduce the development methodology for to get the best technique choice, financial and environmental of a hot asphalt plant with an advanced technology of last generation to produce asphalt of quality.

The Chapter I, describes aspects related with the asphalt since its history and the first uses until the State of the Art of asphalt plants and the evolution of the batch asphalt plants and drum mixer asphalt plants.

The Chapter II, talks about the importance of the quality applying the methodology of the six sigma, the acquisition of information with SCADA and the instruments of the continuous improvement. We apply the tools that results from the management of quality and the determination of the critical variables to realize the control.

The Chapter III, develops the process of assembly of an asphalt plant of continue production of drum mixer, since the application of the eight points of the assembly plan, layout, utilization of equipments and instruments of security.

The Chapter IV, we begin to evaluate and select the technological alternatives, starting with a technical and comparative analysis of the technological alternatives of hot asphalt plants available in the universal market. Also we use matrixes of pondering to determine the comparative advantages in relation to the capacities of asphalt plants, facilities for the transport, operation and assembly, quality of mix and factors of localization.

The Chapter V, analyze the costs of investment, possession, operation and maintenance considering the calculus of useful life, economic life, depreciation and the residual value.

The Chapter VI, we study the economic and financial evaluation considering the main rules of evaluation such as: actual value net, cost/benefit, internal rate of return for three different sizes of chosen plants.

The Chapter VII, talks about the basic rules to make the evaluation of the environmental and the mitigation of the impact of the environmental with the uses of equipments and advanced technology such as the process of collecting dust and the bag houses. Finally considering the results, we can say that the Asphalt Plant Six Pack Portable Double Barrel of ASTEC model PDB 300 is the best technological alternative for our country.



CAPÍTULO

I

MARCO TEÓRICO Y EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LAS PLANTAS DE ASFALTO EN CALIENTE

La sociedad del conocimiento es la primera sociedad humana en la cual la movilidad ascendente es potencialmente ilimitada. El conocimiento se diferencia de todos los demás medios de producción en que no se puede heredar ni legar; tiene que ser adquirido de nuevo por todo individuo; todos tienen que empezar con la misma ignorancia total.

PETER F. DRUCKER

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO Y EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LAS PLANTAS DE ASFALTO EN CALIENTE

1.1 Planteamiento de la hipótesis

La Tesis de Maestría: “Proyecto de Ingeniería de una Planta de Asfalto en Caliente con Tecnología de Última Generación”, propone el desarrollo de una metodología para optimizar la selección técnica, financiera y ambiental para seleccionar y elegir una planta de asfalto en caliente con tecnología de última generación, la cual permita obtener una mejor calidad del asfalto y de esta forma una mayor duración de las vías en el Perú. Debido a que la mezcla asfáltica en caliente se elabora en una planta de asfalto, se hace énfasis en la tecnología disponible, innovación tecnológica, modelos de plantas de asfalto, evaluación de los procesos, aseguramiento de la calidad, sistemas y controles requeridos referidos al proyecto de ingeniería.

El fundamento principal de la hipótesis es que las mezclas asfálticas producidas en el Perú se obtienen con tecnología obsoleta de los años 1,970 con plantas de tambor mezclador de flujo paralelo de propiedad del PROVIAS NACIONAL.

En consecuencia se presenta la evolución de la tecnología de las plantas de asfalto en caliente a partir del enfoque de un proyecto de ingeniería para la instalación, montaje operación y mantenimiento de una planta de asfalto con tecnología de punta evaluando las distintas marcas y fabricantes disponibles en el mercado de la industria de las plantas de asfalto en caliente.

Asimismo, tiene como objetivo presentar una cronología de algunos de los conceptos tecnológicos que se han introducido durante las diferentes etapas del proceso evolutivo de las plantas de asfalto en caliente. La idea no es descalificar aquellas plantas de “generaciones anteriores” que aun se encuentran prestando servicio en nuestro país con resultados completamente satisfactorios. Muchas veces el resultado final deseado, el cual es obtener una mezcla asfáltica de excelente calidad, depende más del personal que la opera que de la planta en sí. Sin embargo todos estamos de acuerdo en la importancia de estar informados sobre los últimos adelantos tecnológicos disponibles; que podrían en un momento dado representar beneficios tanto para la entidad pública o empresa, como para el ente contratante y para el usuario final.

El avance acelerado de la ciencia y la tecnología del mundo cambiante en que vivimos, la industria de las plantas de asfalto en caliente ha mantenido el ritmo del vertiginoso desarrollo tecnológico de nuestra era, adoptando las nuevas herramientas disponibles y adaptándose rápidamente a los nuevos requerimientos, cada vez más exigentes del mercado del asfalto.

En general se han logrado avances significativos en la calidad del producto terminado con una mínima dependencia en la pericia del operador. Con una planta de “nueva

generación”, ya no es necesario contratar a un gran experto para operarla a fin de obtener una buena mezcla. Por otra parte las plantas se han hecho cada vez más eficientes, logrando reducir el costo de producción de la mezcla asfáltica. Se ha logrado la incorporación de material reciclado o RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) en altos porcentajes, sin deteriorar las características del producto final.

Los diseños se han hecho más versátiles en cuanto a portabilidad y facilidad de instalación. Y algo muy importante es que los avances tecnológicos alcanzados han logrado minimizar los efectos contaminantes sobre el aire y las aguas, cumpliendo con las cada día más rigurosas normas ambientales.

Las normas para el diseño y construcción de los pavimentos han logrado igualmente una importante evolución y se han desarrollado nuevos métodos constructivos, materiales y aditivos. Las plantas de asfalto de última generación están preparadas para cumplir su rol protagónico en la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente, las cuales actualmente siguen siendo el material predilecto por excelencia para la construcción de vías. Matemáticamente se expresa las variables independientes y la variable dependiente de la siguiente forma:

$$\text{CALIDAD DE MEZCLA ASFALTICA} = f(\text{Diseño de Mezcla, Agregados, Cemento Asfáltico, Proceso de Producción})$$

Considerando como *ceteris paribus* al diseño de mezcla, agregados y al cemento asfáltico debido a que existen normas establecidas y requisitos estandarizados, podemos plantear que la calidad de la mezcla asfáltica en caliente depende de la tecnología del proceso de producción de la mezcla asfáltica obtenida mediante una planta de asfalto en caliente; en consecuencia la relación entre las variables es la siguiente:

$$\text{CALIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA} = f(\text{Proceso de Producción, Ceteris Paribus})$$

La ingeniería ha venido día a día, desarrollando nuevas investigaciones y técnicas, tanto en el diseño como en la construcción y evaluación de pavimentos. Esos desarrollos se vienen produciendo a la par con los avances científicos y tecnológicos de la humanidad en todos los órdenes, que conllevan al desarrollo de los campos de acción de la ciencia.

En ese orden de ideas, los países industrializados como Estados Unidos y los que conforman la Comunidad Económica Europea, han adoptado sus propias especificaciones técnicas y normas para materiales y procedimientos constructivos que continuamente los están actualizando.

Este proyecto es una investigación bibliográfica sobre los equipos que se fabrican para producir mezclas asfálticas en caliente y el control de calidad de las mezclas asfálticas en caliente, y se refiere al establecimiento de los medios operacionales para cumplir los requisitos de calidad y obtener un producto final de óptimas condiciones, que sirva para lo cual fue diseñado y soportó el período de diseño satisfactoriamente.

La mezcla asfáltica se produce en la planta de producción, por esta razón este es el primer lugar donde se debe realizar un control estricto de los insumos y de la ejecución de todos los procesos para obtener un producto final de buena calidad, que se ajuste a

las especificaciones y cumpla con todas las expectativas para la cual fue diseñada. En ese orden de ideas se debe conocer los componentes de la planta, como funcionan, como se pueden mejorar y como se pueden controlar.

Según el ASPHALT INSTITUTE, en la segunda edición de su Manual "CONSTRUCTION OF HOT MIX ASPHALT PAVEMENTS", una planta de asfalto es un ensamble de equipos mecánicos y eléctricos donde los agregados son secados, calentados y mezclados con asfalto para producir mezcla asfáltica en caliente de acuerdo con las especificaciones requeridas. Las plantas de asfalto varían en su capacidad de mezclado y pueden ser estacionarias (localizadas en un sitio permanente) o portátiles (trasladadas de obra en obra).

En general, cualquier planta puede ser clasificada como una planta de tipo batch o como una planta de tambor de mezclado. Independientemente del tipo de planta de mezclado en caliente, el propósito básico es el mismo: producir mezcla asfáltica en caliente con las proporciones especificadas de agregados y asfalto, ambos tipos de plantas están diseñados para tal propósito.

Se ha revisado importante bibliografía con el fin de determinar las nuevas tendencias en la construcción de pavimentos, se revisaron especificaciones italianas, inglesas y americanas; de esta revisión, se determinó que el país líder en la construcción de pavimentos asfálticos usando mezcla en caliente es los E.U.A, donde desde hace varios años se encuentran desarrollando el sistema Superpave y el SMA (Stone Matrix Asphalt), que especifica todos los componentes de la mezcla y realiza el análisis y diseño soportado en ensayos de laboratorio y softwares especiales.

De esta revisión quedó claro que los documentos de los cuales se podía extraer información actualizada con plena confiabilidad corresponden a las publicaciones del Asphalt Institute y del Transport Research Board TRB, obviamente sin desmerecer otras investigaciones y estudios publicados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

1.2 Modelo propuesto y análisis de la planta de asfalto

Las plantas de mezcla en tambor del tipo contraflujo fueron diseñadas como una alternativa a las plantas de flujo paralelo para buscar una manera de poder agregar el RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) sin incurrir en violaciones legales, a raíz de la demanda introducida por CMI contra varios de los otros fabricantes reclamando como suya la idea de introducir el RAP por un anillo en el medio del tambor de flujo paralelo. A pesar de que al final esta demanda no prosperó, eso fue lo que inicialmente motivó el surgimiento de los tambores contraflujo como una alternativa a la necesidad de producir mezclas con incorporación de RAP. Al desarrollarse los contraflujos, se encontró que éstos tenían una gran ventaja en cuanto al control de las emisiones.

En estas plantas tanto el RAP como el cemento asfáltico virgen se introducen detrás de la llama, después de que el secado de los agregados vírgenes se ha completado; por esta razón cuando se encuentra en presencia de asfalto (virgen o residual) con componentes orgánicos volátiles (Voc's) no se produce opacidad en el escape, además el humo que produzca el asfalto va a ser arrastrado hacia la llama, donde es incinerado. Por esto se

puede incorporar mayor porcentaje de RAP sin causar contaminación visible (opacidad).

En cualquier planta contraflujo cuando se produce una mezcla con material virgen, la temperatura de los gases en el escape es menor que la temperatura de la mezcla asfáltica. La temperatura a la entrada del baghouse generalmente se mantiene entre 120 °C y 130 °C.

Esto es un indicativo que dentro del tambor mezclador se absorbió mayor cantidad de energía térmica de la corriente de gases. Sin embargo debe tenerse cuidado al calcular la pérdida de calor en el escape, ya que ésta va determinada por dos factores: la temperatura y el flujo másico de los gases de escape. La temperatura puede ser baja, pero si el flujo de aire es muy alto significa que la pérdida de energía también es alta.

En todas las plantas contraflujo hay una corriente de aire frío en el extremo posterior del tambor que no contribuye al proceso de combustión ni de secado, este aire penetra a través de la boca de entrada de los agregados vírgenes inducido por la velocidad de los gases de escape que pasan por ese mismo extremo hacia el baghouse; ese volumen de aire adicional se mezcla con los gases y absorbe parte de la energía calorífica bajándole su temperatura, lo cual puede dar una idea errónea de mayor eficiencia.

En los primeros diseños de plantas de mezcla tambor de contraflujo introducidas en el año 1,988, presentaron algunas limitaciones y deficiencias, sin embargo con el avance de la tecnología han sido superadas paulatinamente.

El segundo modelo de planta contraflujo introducido al mercado fue el mezclador de doble tambor Double Barrel de ASTEC. En este diseño el agregado virgen es calentado en un tambor interno de manera similar que en un tambor secador contraflujo convencional. En el extremo del quemador, el agregado virgen súper calentado cae a través de orificios en las paredes del tambor interno a un tambor externo estacionario, donde también se agrega el RAP, esta mezcla es forzada a fluir en sentido contrario a la inclinación del tambor (contra la gravedad) por medio de paletas de arrastre que van acopladas al tambor interno, fabricadas de acero especial para poder soportar la alta abrasión a las que están sometidas.

En este recorrido debe realizarse el secado y el calentamiento del RAP antes de proceder a adicionarle el cemento asfáltico, el movimiento ascendente continúa luego para lograr el recubrimiento de las partículas de la mezcla con el asfalto. Este diseño reduce las pérdidas de calor por la carcasa del tambor interno en la zona de combustión; sin embargo las paletas aisladoras, que se utilizan para mantener el agregado pegado a las paredes internas del tambor para que no interfiera con la llama, bloquean el calor por radiación, por lo que la transferencia hacia el RAP va a ser por conducción, la transferencia de calor desde el tambor interno hacia el tambor externo encuentra tres resistencias importantes:

a) resistencia de conducción a través de la pared del tambor interno, la cual tiene que tener un espesor suficientemente grueso para soportar los esfuerzos generados al empujar el material contra la gravedad.

- b) resistencia de conducción desde la raíz de las paletas de mezclado hasta su superficie.
- c) resistencia de conducción de contacto entre la superficie de la paleta y el RAP frío.

Debido a que el tambor externo es estacionario, el mezclado entre los agregados vírgenes y reciclado se realiza en la parte inferior del tambor externo, por lo que el contacto entre el material y la pared del tambor interno casi no existe, solo las paletas entran en contacto con el material en forma alternada. Debido a esto, el trabajo de secar y calentar el RAP sigue dependiendo principalmente, en este tipo de planta, del material virgen súper calentado y cualquier fuente de calor adicional para el RAP es muy limitada. Por esto las limitaciones descritas para el contraflujo convencional, también aplican para la planta doble tambor cuando el contenido de humedad en el RAP es elevado.

El humo generado por los componentes volátiles (VOC), presentes en el cemento asfáltico y el RAP, es arrastrado por la corriente de aire hacia la llama donde son incinerados, al igual que en los otros modelos de contraflujo, logrando reducir la opacidad. El problema se presenta cuando se tiene un alto contenido de humedad en el RAP, ya que todo el vapor que se genera es igualmente arrastrado por la corriente de aire hacia la parte posterior de la llama en el tambor interno afectando negativamente el proceso de combustión y generando gases contaminantes. A fin de mantener las emisiones gaseosas dentro de rangos aceptables, esta planta debe bien sea reducir su producción o usar menos RAP o usar uno que este mas seco. En comparación, la cantidad de finos que es enviado al colector de polvo en cualquier planta del tipo contraflujo es de 10 a 20 veces superior al de una planta Venturi-Mixer.¹ Las principales variables favorables de las plantas de contraflujo son:

1. Fueron diseñadas como una alternativa a las plantas de flujo paralelo para buscar una manera de poder agregar el RAP sin incurrir en violaciones legales en los años 1,980.
2. Los tambores mezcladores de contraflujo, tienen una gran ventaja en cuanto al control de las emisiones.
3. La transferencia de calor es más eficiente en las plantas de contraflujo porque permite ahorrar energía.
4. El RAP como el cemento asfáltico virgen se introducen detrás de la llama, después de que el secado de los agregados vírgenes se ha completado.
5. Cuando se está en presencia de asfalto (virgen o residual) con Componentes Orgánicos Volátiles (VOCs) no se produce opacidad en el escape, además el humo que produzca el asfalto va a ser arrastrado hacia la llama, donde es incinerado. Por esto se puede incorporar mayor porcentaje de RAP sin causar contaminación visible (opacidad).
6. Cuando se produce una mezcla con material virgen, la temperatura de los gases en el escape es menor que la temperatura de la mezcla asfáltica.
7. La temperatura a la entrada del baghouse generalmente se mantiene entre 120 °C y 130 °C.

¹ EVOLUCION TECNOLOGICA DE LAS PLANTAS DE ASFALTO EN CALIENTE

Ing José Alberto Merinsky M.

Plantas de Flujo Paralelo de Mezcla en Tambor – Venturi-Mixer

8. El DMC-II utiliza un secador de contraflujo en vez del secador de flujo paralelo utilizado ya sea en el mezclador de tambor original o un mezclador Drum Mix Coater-I.
9. Las nuevas versiones de estas plantas con mezcladores dobles permiten la introducción del material reciclado antes de que se inyecte el líquido.
10. Menor tiempo para desarrollar todos los procesos.
11. El humo generado por los Componentes Orgánicos Volátiles (VOC's), presentes en el cemento asfáltico y el RAP, es arrastrado por la corriente de aire hacia la llama donde son incinerados, al igual que en los otros modelos de contraflujo, logrando reducir la opacidad.
12. La oxidación mediante un secado exterior han sido superados.
13. Eliminan la unidad de gradación.
14. Incluyen control electrónico y sistema SCADA.
15. El peso de materiales se obtiene en seco, antes de entrar al tambor, para corregir inconvenientes de sincronización y variación de humedad.
16. El control de polvo es de tipo seco, con filtro de mangas o baghouse.
17. Son fáciles de transportar, no requieren de cimentaciones especiales, son autoeregibles.
18. Los niveles de ruidos son controlados con dispositivos silenciadores.

1.3 Innovación de los métodos para el aseguramiento de la calidad

La propuesta innovadora para la aplicación de Métodos para el Aseguramiento de la Calidad es mediante el Modelo Híbrido LSZ, la aplicación de Labview, Scada y Six Sigma para la adquisición de datos, control de variables críticas, niveles permisibles de error y el feedback permanente de información durante los procesos de producción de la mezcla asfáltica. Este aspecto es ampliamente desarrollado con las correspondientes herramientas de la calidad en el Capítulo II.

1.4 Población y muestra de las plantas de asfalto en el Perú

Se calcula que el Perú existen en operación aproximadamente entre 80 a 90 plantas de asfalto todas de flujo paralelo en caliente de las cuales el 90% son de propiedad del Estado a través del PROVIAS NACIONAL, muchas de estas plantas se encuentran en Convenio con los Gobiernos Regionales o Locales; asimismo aproximadamente el 50% se encuentran inoperativas por falta de mantenimiento y por falta de repuestos.²

Para el caso de la presente Tesis la muestra obtenida corresponde a la evaluación de las plantas que se encuentra ubicadas en Laredo Trujillo, La Victoria Cajamarca y Lambayeque.

1.5 Instrumentos y medios de verificación

Los instrumentos a utilizar están descritos en el Capítulo III y los principales medios de verificación son: granulometría de agregados, dosificación de cemento asfáltico, presión, temperatura, calidad de mezcla, niveles de ruidos, emisiones al ambiente,

² REPORTE DEL PROVIAS NACIONAL JUNIO 2006
TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

1.6 Historia del asfalto

El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos. La palabra Asfalto, deriva del acadio, lengua hablada en Asiria, en las orillas del Tigris superior, entre los años 1,400 y 600 A.C. En la Figura. 1.1 muestra una tablilla de arcilla en acadio corresponde a una inscripción realizada por Ur-Bau, gobernador de Lagash 2,155-2,142 A.C.).



Figura. 1.1 Tablilla de arcilla en acadio

En esta zona se encuentra en efecto la palabra "Sphalto" que significa "lo que hace caer". Luego la palabra fue adoptada por el griego, pasó al latín y, más adelante, al francés (asphalte), al español (asfalto) y al inglés (asphalt). Estudios arqueológicos, indican que el asfalto es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado. También es muy conocido que el término "bitumen" se originó en Sanscrito, donde la palabra "jatu" significa alquitrán y "jatubrit" significa la creación de alquitrán, palabra referida al alquitrán producido por resinas de algunos árboles. El equivalente en latín fue originalmente "gwitu-men" (cerca del alquitrán) y por otros "pixtu-men" (alquitrán burbujeado), cuya palabra fue acortada subsecuentemente a "bitumen" pasada luego del francés al inglés.

Existen varias referencias al asfalto en la Biblia, aunque la terminología usada puede ser bastante confusa. Sin embargo en el libro del Génesis se refiere al impermeabilizante utilizado en el Arca de Noe, la Foto 1.2 corresponde a la vista desde el Monte Arat de los restos del Arca de Noe.



Foto 1.2 Vista aérea lateral desde los montes Ararat, los restos del arca de Noé

Dios eligió a Noé por ser el único justo en su generación. Le encomendó "Hazte un arca de maderas resinosas. Haz cuartos en ella y la calafateas por dentro y por fuera con betún para que no le entre el agua". (Génesis 6.14).

Las descripciones de La Torre de Babel según la versión autorizada de la Biblia dice: "Al no disponer de piedra para la construcción, se decidió fabricar ladrillos". Y como tampoco contaban con cal, usaron betún como argamasa. La nueva versión autorizada dice: "Ellos usaron ladrillos en vez de piedra y alquitrán en vez de mortero". La Foto 1.3 muestra la pintura de La Torre de Babel de Brueghel y la Figura 1.4 muestra la forma como se construyó la Torre de Babel utilizando los indicados materiales.



Foto 1.3 *La Torre de Babel, de Brueghel* **Figura 1.4** *Construcción de la Torre de Babel*

Teniendo en cuenta el gran número de aplicaciones posibles y conocidas de los ligantes hidrocarbonados, es normal que se encuentren numerosas alusiones en la literatura al respecto. Es así como en la Biblia, se menciona en varias oportunidades su uso a propósito del Arca de Noé, de la Torre de Babel, de la Cuna de Moisés, de las Murallas de Jericó, etc.

Numerosas citas figuran en casi todos los libros griegos o latinos, que según los casos, describen los yacimientos de betún natural o de asfalto, la fabricación del alquitrán de madera, los diversos usos o curiosas propiedades de este producto.

1.7 Los primeros usos del asfalto

Existen por supuesto grandes depósitos de crudo de petróleo en el ambiente y por miles de años éstos han correspondido a láminas superficiales de asfalto "natural". Los antiguos habitantes de esas zonas no apreciaron las excelentes propiedades impermeabilizantes, adhesivas y de preservación que tenía el asfalto y rápidamente dejaban de usar este producto para su disposición final. Por más de 5.000 años el asfalto en cada una de sus formas ha sido usado como un impermeabilizante y/o agente ligante.

Los árabes desarrollaron el asfalto para uso medicinal, el cual se extendió hasta nuestra época. Se utiliza para el tratamiento de enfermedades a la piel y como desinfectante tópico.

Dada las propiedades combustibles que presentan los ligantes hidrocarbonados, es que en la antigüedad utilizaban el asfalto con fines bélicos o destructivos, en forma de bolas de betún encendidas las cuales eran lanzadas por medio de las catapultas mostradas en la Figura 1.5 y también en forma de baños incandescentes, prolongándose hasta la Edad Media. Por último, cabe destacar el papel desempeñado por los ligantes hidrocarbonados en el calafateo y protección de los cascos de las embarcaciones.

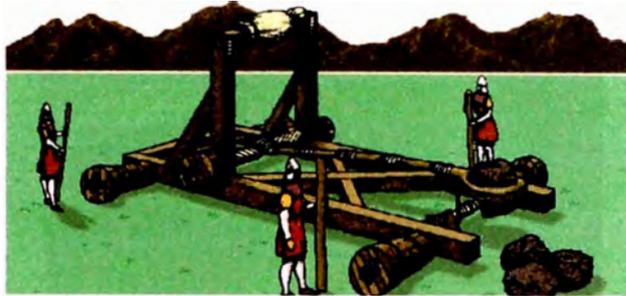


Figura 1.5 *Catapulta - Máquina para lanzar proyectiles de betún*

En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remonta aproximadamente al año 3,200 A.C. Excavaciones efectuadas en TellAsmer, a 80 km al noreste de Bagdad, permitieron constatar que los sumerios habían utilizado un mortero de asfalto para la construcción. Dicho mortero estuvo compuesto por betún, finos minerales y paja, se utilizaba para unir ladrillos y construir muros o parapetos, en la realización de pavimentos interiores de 3 a 6 cm de espesor, para tratamientos superficiales externos de protección y como revestimiento impermeable en los baños públicos. Este género de aplicaciones se repite en numerosas regiones de Mesopotamia, al igual que en Mohenjo Daro, en el Valle Indus, existen tanques de agua particularmente bien preservados los cuales datan del año 3,800 A.C. En las paredes de este tanque, no solamente los bloques de piedra fueron pegados con un asfalto "natural" sino que también el centro de las paredes tenía "nervios" de asfalto natural. Los egipcios habían encontrado otra aplicación al betún, como relleno del cuerpo en trabajos de momificación, práctica que se extiende aproximadamente hasta el año 300 A.C.

En lo respecta al primer uso registrado del asfalto en la construcción de caminos fue en Babilonia alrededor del año 625 A.C, bajo el reinado de Nabopolasar se fundó la dinastía neobabilonia, y su hijo Nabucodonosor II extendió el reino hasta Palestina y Siria. La capital de Babilonia fue renovada con los nuevos edificios del templo y del palacio, grandes murallas y puertas de fortificación y caminos procesionales pavimentados; fue la mayor ciudad del mundo conocido, abarcando una extensión superior a las 1,000 hectáreas.

La ciudad de Babilonia fue uno de los más importantes centros urbanos durante los milenios II y I A.C. Situada al este del río Éufrates, a 90 km al sur de la actual capital iraquí Bagdad, su mayor esplendor correspondió al reinado del monarca de la dinastía neobabilonia (caldea) Nabucodonosor II, que tuvo lugar desde el 605 hasta el 562 A.C.

En el libro Una Centuria de Progreso: La Historia de la Mezcla Asfáltica Caliente publicada por NAPA (National Asphalt Pavement Association) en 1,992, el autor, Hugh Gillespie, menciona que: *"una inscripción sobre un ladrillo registra la pavimentación*

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

de la Calle de la Procesión en Babilonia, la cual llevaba desde su palacio hasta la pared norte de la ciudad, con asfalto y ladrillo cocido". La Foto 1.6 presenta una de las principales ruinas de Babilonia.



Foto 1.6 Ruinas de Babilonia

También se refiere Hugh Gillespie que Sir Walter Raleigh, en su tercer viaje en el año 1,498, descubrió el lago de asfalto en la isla de Trinidad, el lago natural más grande del asfalto del mundo. Era la primera fuente del asfalto disponible en América; la segunda fuente era el lago Bermúdez en Venezuela. Sir Walter Raleigh quedó asombrado ante este lago de asfalto y tomó posesión del lago Bermúdez para ofrecer a la Corona Británica y declaró al lago de asfalto como el mejor impermeabilizante utilizado para el calafateo de sus barcos.

Se puede considerar que el 19 de agosto de 1,681, abrió una nueva era para los ligantes hidrocarbonados, dado que los ingleses Joaquín Becher y Henry Serie registraron una patente relativa a "un nuevo método para extraer brea y alquitrán del carbón de piedra", que según sus autores permitía obtener un alquitrán tan bueno como el de Suecia.

Mientras tanto, en el año 1,712, el griego Eirini D'Eyrinis hizo otro descubrimiento: el yacimiento de asfalto de Val de Travers en Suiza y luego el yacimiento de Seyssel en el Valle del Ródano en Francia. A partir de estos yacimientos se elaboró el "mortero de asfalto", aplicado a revestimientos de caminos y senderos. Las primeras aplicaciones tuvieron lugar en las afueras de Burdeos y en Lyon. No obstante esos tempranos usos del asfalto, pasaron muchos años antes de que los constructores europeos y americanos, lo consideraran como un material para pavimentación. Lo que ellos necesitaban primero era un buen procedimiento constructivo.

El inglés John Metcalf, nacido en Escocia en 1,717, a los 40 años edad, a pesar de estar ciego desde los 6 años construyó 180 millas de caminos en Yorkshire. Insistía con la necesidad de hacer un buen drenaje con una buena base usando piedras grandes cubiertas con material excavado del camino, terminando con una capa de gravilla. La superficie tenía pendientes laterales para que el agua drenara hacia las zanjias hechas a ambos lados.

Thomas Telford nació en Escocia en 1,757 perfeccionó el método de construir caminos con piedra partida como se ilustra en la Figura 1.7, con espesor de acuerdo al peso y la cantidad de vehículos de tráfico, construyó más 900 millas de caminos en Escocia durante los años 1,803 a 1,821.

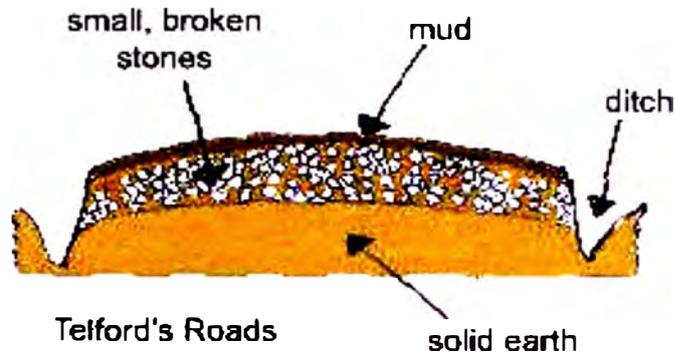


Figura 1.7 Esquema de las vías diseñadas por Telford

John Loudon McAdam, contemporáneo de Telford, observó que era el “suelo natural” el que soportaba el peso del tránsito y que “mientras esté preservado el estado seco aguantará cualquier peso sin hundirse” como lo ilustra la Figura 1.8. Para construir sus caminos McAdam usaba piedra partida, “la cual se unirá por sus propios ángulos formando una superficie sólida”. Más tarde, para reducir el polvo y el mantenimiento, los constructores usaron alquitrán caliente para unir las piedras partidas, produciendo el pavimento denominado “Tarmacadam”.

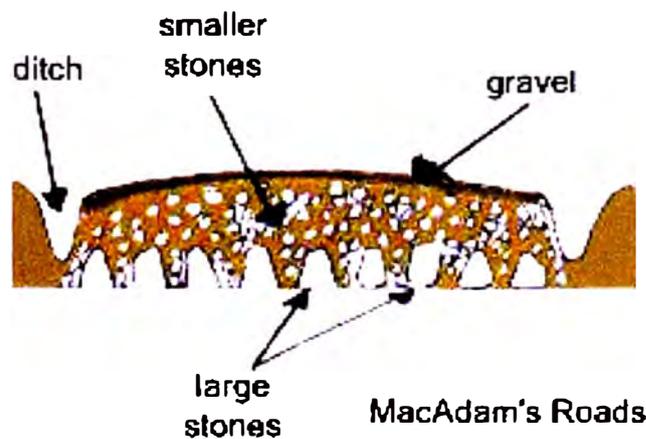


Figura 1.8 Esquema de la vías diseñadas por MacAdam

En el año 1,781, Lord Dundonald realiza los primeros estudios relativos a la calidad y utilización del alquitrán de hulla y barniz de hulla. Así fue como se comenzaron a utilizar productos naturales que se obtenían del suelo, dando la llegada al carbón, alquitrán y luego el asfalto obtenido a partir del crudo de petróleo. El alquitrán o breca caliente fue utilizado en Inglaterra desde 1,820 para unir las piedras quebradas o trituradas. Este tipo de mezcla, conocido como Tarmacadam, fue patentado en 1,910 por Warren Brothers en Cambridge, Massachussets, EUA.

En 1,824, la firma francesa Pillot et Eyquem comenzó a fabricar adoquines se asfalto, que en 1,837 se utilizaron para pavimentar la Plaza de la Concordia y los Campos Elíseos en París.

En 1,852, la construcción de la carretera Paris-Perpignan utilizó el asfalto de Val de Travers, significando el comienzo de una nueva forma de construcción vial. En 1,869, se introduce el procedimiento en Londres con asfalto de Val de Travers.

En 1,900 aparece la primera mezcla asfáltica en caliente, utilizada en la rue du Louvre y en la avenue Victoria en París, la cual fue confeccionada con asfalto natural de la Isla de Trinidad.

1.8 América y los caminos asfálticos

El alquitrán en frío o brea de carbón (no asfalto) fue el ligante de las primeras mezclas bituminosas producidas en los Estados Unidos. Estas mezclas fueron usadas en aceras, pasos y en pavimentos a finales de 1,860. En 1,870 el químico belga, Edmund J. DeSmedt realizó el primer verdadero pavimento asfáltico en este país, una mezcla con arena frente al Municipio en Newark, New Jersey. El diseño de DeSmedt fue inspirado en un pavimento de asfalto natural colocado en un camino francés en 1,852.

En 1,876 Edmund J. DeSmedt continuó con el pavimento de la Avenida Pennsylvania, en Washington D. C; el proyecto consistía en la pavimentación de 45,150.86 m² (54,000 yd²), con un sheet-asphalt (carpeta asfáltica) con el asfalto proveniente del lago Trinidad. La duración de este pavimento demostró que la calidad del asfalto utilizado en América era tan buena como el importado de Europa.

Los constructores rápidamente apreciaron las ventajas y bondades del asfalto y trataron de formalizar los registros sobre el material. La primera de las patentes fue registrada en el año 1,871 por Nathan B. Abbott de Brooklyn, New York. En el año 1,900, Frederick J. Warren registró una patente para el pavimento "Bitulithic", una mezcla de betún y agregados; a pesar de los esfuerzos de la Compañía Warren Brothers para defender su patente (y el nombre del material), "Bitulithic" fue a menudo usado para designar cualquier pavimento asfáltico. Otros nombres comerciales para mezclas asfálticas incluían marcas: Wilite, Romanite, National Pavement, Imperial, Indurite y Macasphalt. Muchas de estas mezclas patentadas fueron exitosas y técnicamente novedosas.

Durante el siglo XIX el uso del asfalto estaba limitado por su escasa disponibilidad, no obstante lo cual a mediados del mismo, la roca asfáltica participaba en la pavimentación de calles en Europa y después de 1,870, en E.U.A. El aporte intensivo del asfalto en obras viales ocurrió a principios del siglo XIX debido a dos acontecimientos casi simultáneos:

- La aparición del automóvil con neumáticos que sustituyó a la llanta maciza de caucho ideada en 1,869.
- La explotación masiva del petróleo cuya industrialización lo convirtió en productor principal de asfaltos.

La fuerte competencia entre productores de asfalto, sin embargo, motivó que las ciudades promulgaban normativa con requisitos más severos para sus pavimentos asfálticos. En 1,896, por ejemplo, la ciudad de New York adoptó pavimento asfáltico en lugar de ladrillo, granito y bloques de madera. Pero también requería 15 años de garantía sobre la ejecución y los materiales. A partir del año 1,902, se inicia el empleo de asfaltos destilados de petróleo en los E.U.A, que por sus características de pureza y economía en relación a los asfaltos naturales, constituye en la actualidad la principal fuente de abastecimiento. La aparición y desarrollo de la circulación automovilística en las carreteras de aquel entonces - de macadam a base de agua - provocaban grandes nubarrones de polvo, ello dio origen a los tratamientos superficiales a base de emulsiones en el año 1,903.

1.9 Cambios técnicos en la producción y construcción

Hasta 1,900, casi todo el asfalto usado en los E.U.A venía de las fuentes naturales de los lagos de Trinidad y Bermuda, en Venezuela. Los asfaltos destilados del petróleo, usados inicialmente como aditivos para ablandar el asfalto natural, que facilitaba el manipuleo y la colocación, hicieron su aparición en mitad de la década de 1,870 ganando lentamente aceptación. Hacia 1,907, la producción de asfalto refinado de petróleo, superaba el uso del asfalto natural.

Antes de 1,910, el asfalto refinado del petróleo había ganado supremacía en el mercado respecto a los productos de asfalto de roca y asfalto natural. Las compañías petroleras podían fabricar asfalto más barato y de buena calidad de esta forma se redujo sustancialmente el uso de asfalto proveniente de los depósitos naturales en el lago Trinidad y el lago Bermúdez. Esta supremacía incluso amenazó con las relaciones diplomáticas entre los E.U.A y Venezuela debido a que la dictadura del General Gómez obstaculizaba a las concesiones petroleras y a la compañía Caribbean Petroleum, controlada por la Royal Dutch Shell, la cual perforó con éxito el primer pozo petrolero en el campo Guanoco, en Venezuela.

Mientras tanto, como el automóvil crecía en popularidad, los gobiernos locales y el estado eran exigidos por la demanda de más y mejores caminos. El tráfico vehicular se incrementó sustancialmente; en consecuencia era necesario ejecutar tratamientos superficiales con asfalto, el macadán de penetración y mezclas de asfalto como lo muestra la Foto 1.9.



Foto 1.9 Tratamiento superficial con Macadán de penetración

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

Esta exigencia produjo innovaciones en la producción y distribución del asfalto. Los ensayos sobre caminos fueron gradualmente aceptados gracias a los esfuerzos de Logan Waller Page de la Universidad de Harvard, que había estudiado los procedimientos en Francia. La variedad de petróleos crudos produjo una variedad de mezclas del asfalto. Las pruebas de laboratorio, que no eran tan sofisticadas como hasta ahora, limitaron el uso del asfalto refinado para las superficies del pavimento. En tal virtud en primera instancia, el automóvil obtuvo pronto el favor del público que reclamó buenos caminos para mayor seguridad y confort. El transporte carretero comercial creó la dependencia "camión-camino" exigiendo amplias carreteras para más y mejores vehículos y en segunda instancia, el petróleo produjo importantes volúmenes de asfaltos aptos para un directo uso vial como los cementos asfálticos y los asfaltos diluidos con las fracciones livianas (cut-back).

Las emulsiones bituminosas de tipo aniónico aparecieron aproximadamente en el año 1,905 como paliativo del polvo, mientras que las catiónicas lo hicieron entre 1.951 y 1,957 en Europa y E.U.A respectivamente; en Argentina las aniónicas comenzaron a producirse a mediados de la década de los años 1,930 y las catiónicas a fines de los años 1,960.

Tanta actividad volcada al campo vial hizo que se hablara de la *"era del automóvil y la construcción de carreteras"*. Los primeros trabajos asfálticos en calles y caminos fueron hechos con procesos sencillos para distribuir tanto el ligante como los agregados a mano, posteriormente se utilizaron distribuidores de asfalto accionados con bombas manuales y los dispersores eran mangueras con sus correspondientes boquillas mostradas en las Fotos 1.10.



Foto 1.10 Proceso sencillo de distribución del asfalto

El ritmo de las obras viales y la necesidad de mejorar los trabajos y reducir costos hizo progresar la operación vial. Los métodos manuales se mecanizaron apareciendo los siguientes equipos: esparcidores de asfalto a presión, distribuidores de agregados, rodillos vibratorios, rodillos con neumáticos de presión controlada, etc.

Las mezclas asfálticas colocadas in situ sufrieron cambios importantes, debido a que fueron niveladas y escarificadas usando equipos y maquinaria como motoniveladoras y para su producción se hizo utilizando plantas móviles o fijas. Si bien las primeras mezclas en caliente ingresaron en el mercado alrededor de 1,870 con plantas intermitentes de simple diseño y concepción, hacia 1,900 se habían mejorado su diseño

incluyendo tolvas de agregados, elevadores de materiales fríos y calientes, secadores rotativos, tanques para acopiar asfalto, mezcladoras que permitían cargar a camiones.

Durante los últimos 30 años la versatilidad del asfalto ha incrementado su empleo en otras aplicaciones. La mezcla asfáltica en caliente ha sido usada en aeropuertos durante mucho tiempo. Las pistas asfálticas de los aeropuertos aumentaron su aceptación en los E.U.A al resultar más confortables para los pasajeros en los despegues y aterrizajes, reducir el mantenimiento y permitir construcciones más rápidas.

La mezcla en caliente es también ampliamente usada como solución práctica en depósitos de agua, obras de regulación y control de inundaciones, erosión y problemas de conservación. El asfalto ha sido aprobado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) y usado exitosamente en problemas sanitarios. Mientras tanto la industria del asfalto continúa mejorando los proyectos y la producción.

Desde mediados de los años 1,980, la industria del asfalto desarrolló pavimentos avanzados incluyendo la mezcla de granulometría abierta friccional (OGFC), Superpave y SMA (Stone Matrix Asphalt).

La calle asfaltada construida hace 130 años en Newark tiene poco parecido con las actuales autopistas de asfalto. Pero con el constante progreso de equipo y producción y con el continuo énfasis sobre la calidad, la industria sigue aumentando la durabilidad, seguridad y lisura de los caminos asfálticos.

Aunque la industria de Cemento Portland y sus intereses han tratado de crear argumentos con referencia a las pruebas y resultados de las mezclas asfálticas, todas las agencias de gobierno, así como todas las instituciones privadas relacionadas con la industria del asfalto (NAPA, ASSHTO, SHRP, FHWA, ASTM) continúan probando la superioridad del pavimento asfáltico sobre el pavimento rígido.

El Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A., que antes de la Segunda Guerra Mundial nunca estuvo envuelto en pavimentación, fue designado para construir todos los caminos, accesos y carreteras militares. Ellos influyeron en el uso de pavimentos asfálticos, aún mucho después de terminada la guerra. Hoy en día, bases con mezclas de asfalto en caliente con agregado de gran tamaño, el cual era muy común a principios de siglo, vuelven otra vez a ser favorecidas como forma de reducir el ahuellamiento, y proveer mayor resistencia a las pesadas y frecuentes cargas que transitan en las carreteras.

Actualmente, aditivos para el asfalto se usan para incrementar la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente en altas y bajas temperaturas. (SuperPave). También los asfaltos modificados (SMA con polímeros), han logrado aumentar la capacidad de las mezclas para reducir el ahuellamiento, proveer excelente drenaje tanto superficial como interno con las superficies abiertas, y casi duplicar la vida de esos pavimentos, con la mitad del espesor convencional requerido, reduciendo los costos de mantenimiento un 95%.

Esta moderna tecnología, que fue traída de Europa, fue perfeccionada por el estado de Georgia para implementarla en las vías de comunicación en Atlanta para las Olimpiadas de 1,996. Esta técnica nueva también requiere cambios fundamentales en el uso de los

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

agregados componentes en la forma, el tamaño, la textura y la gradación. Uno de los factores más importantes que hacen al asfalto muy superior al pavimento rígido de concreto es su flexibilidad. Y con asfalto, los costos de mantenimiento siempre son mucho más económicos. Todos los grandes pioneros de la fabricación de carreteras, desde la época de los romanos, estuvieron de acuerdo siempre que para hacer una buena carretera, los tres factores más importantes son: drenaje, drenaje y drenaje.

1.10 El proceso de obtención del asfalto

1.10.1 Definición

El asfalto es una sustancia sólida o semisólida según la temperatura ambiente; a la temperatura de ebullición del agua tiene consistencia pastosa, por lo que se extiende con facilidad. Se mezcla con solventes para hacerlo más líquido y más fácil de trabajar. Algunos de los solventes que se usan para mezclar con el asfalto son nafta, tolueno y xileno.

Estos solventes son sustancias peligrosas, inflamables, muy apestosas y que aumentan los peligros potenciales de los trabajos con asfalto. Existen muchos diferentes tipos y grados de asfalto que se usan actualmente. La Figura 1.11 muestra los distintos productos bituminosos.

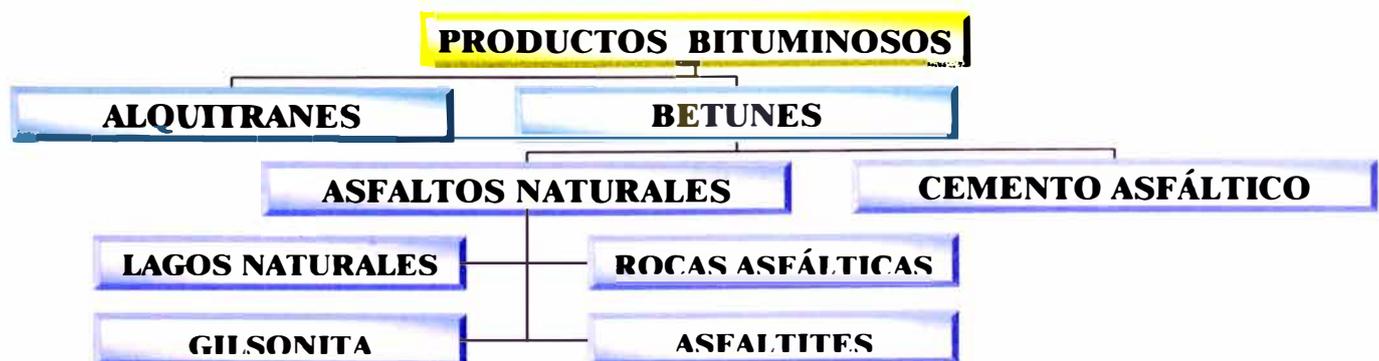


Figura 1.11 Productos bituminosos

Fuente: Instituto del Asfalto Manual del Asfalto

El asfalto se encuentra en depósitos naturales; pero actualmente casi todo el asfalto utilizado en mezclas asfálticas es artificial proveniente de los derivados del petróleo. Está constituido principalmente por fases como los maltenos, asfaltenos, resinas y aceites como lo indica la Figura 1.12, estos elementos proporcionan características de viscosidad, consistencia, aglutinación y ductilidad asfalto.

Para la pavimentación de las vías se emplean asfaltos de destilación, hechos con los hidrocarburos no volátiles que permanecen después de haber sido refinado el petróleo para obtener gasolina y otros productos.

En la fabricación de materiales para tejados y productos similares se utilizan los asfaltos soplados, que se obtienen de los residuos del petróleo a temperaturas entre 204°C y 316°C. Una pequeña cantidad de asfalto se craquea o se rompe por elevación de la temperatura, a los 500°C para fabricar materiales aislantes.



Figura 1.12 El Asfalto

Fuente: Instituto del Asfalto Manual del Asfalto

Los depósitos naturales de asfalto suelen formarse en pozos o lagos a partir de residuos de petróleo que resuman hacia la superficie a través de fisuras en la tierra. Entre ellos destacan el lago Asfaltites o mar Muerto, en Palestina; los pozos de alquitrán de La Brea, en Los Ángeles, en los cuales se han encontrado fósiles de flora y fauna prehistóricas; el Lago de la Brea, en la Isla de Trinidad, y el Lago Bermúdez, en Venezuela. También se aprovechan los depósitos de rocas asfálticas o rocas impregnadas de asfalto.

1.10.2 Funciones

El asfalto se presta particularmente bien para la construcción por varias razones:

- Proporciona una buena unión y cohesión entre agregados, incrementando por ello la resistencia con la adición de espesores relativamente pequeños.
- Capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos.
- Impermeabiliza la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de las precipitaciones.
- Proporciona una estructura de pavimento con características flexibles.
- En la mayoría de los casos, al asfalto utilizado para pavimentar las calles, es el residuo de las refinerías después de haber destilado del petróleo crudo una gran cantidad de otros productos.

1.10.3 Proceso de refinación del petróleo

El petróleo finalmente llega a las refinerías como lo muestra la Figura 1.13 en su estado natural para su procesamiento. Aquí prácticamente lo que se hace es cocinarlo. Por tal razón es que al petróleo también se le denomina "crudo".



Figura 1.13 Esquema de una refinería de petróleo

Una refinería como la mostrada en la Foto 1.14, es un enorme complejo donde ese petróleo crudo se somete en primer lugar a un proceso de destilación o separación física y luego a procesos químicos que permiten extraerle buena parte de la gran variedad de componentes que contiene.



Foto 1.14 Refinería de Talara

El petróleo tiene una gran variedad de compuestos, al punto que de él se pueden obtener por encima de los 2,000 productos. El petróleo se puede igualmente clasificar en cuatro categorías:

1. Parafínico.
2. Nafténico.
3. Asfáltico o mixto.
4. Aromático.

Los productos que se obtienen del proceso de refinación se llaman derivados y los hay de dos tipos: los combustibles, como la gasolina, diesel, etc.; y los petroquímicos, tales como polietileno, benceno, etc.

Las refinerías son muy distintas unas de otras, según las tecnologías y los esquemas de proceso que se utilicen, así como su capacidad. Las hay para procesar petróleos suaves, petróleos pesados o mezclas de ambos. Por consiguiente, los productos que se obtienen varían de una a otra.

La refinación se cumple en varias etapas. Es por esto que una refinería tiene numerosas torres, unidades, equipos y tuberías. Es algo así como una ciudad de plantas de proceso. En el Perú se tiene las siguientes refinerías que producen asfalto:

- Refinería La Pampilla.
- Refinería Talara.
- Refinería Conchán.

La Refinería La Pampilla RELEPASA mostrada en al Foto 1.15, se dedica a la refinación, almacenamiento, transporte y distribución de petróleo y sus derivados. Es la única refinería privada del país, y su accionista mayoritario y operador es Repsol YPF Perú. Su principal competidor es la estatal PETROPERÚ, que opera las refinerías más importantes Talara y Conchán.



Foto 1.15 Refinería La Pampilla

Ubicada en el distrito de Ventanilla, provincia del Callao, Refinería La Pampilla. inició sus operaciones hace casi 40 años. En 1996 gracias al proceso de apertura económica y promoción de la inversión privada, la compañía pasó a formar parte del grupo Repsol YPF Perú.

Desde entonces el nivel tecnológico de los procesos y la calidad de sus productos han ido en constante aumento, gracias al intensivo programa de inversiones que se han orientado a la optimización de procesos, mejorar la capacidad de producción y contar con nuevas unidades que garantizan un proceso más seguro, confiable y cuidadoso con el medio ambiente.

Repsol YPF Perú ha montado en la Pampilla nuevas instalaciones, tales como el laboratorio de análisis de hidrocarburos más moderno de esta parte del continente, una planta de Cogeneración para el autoabastecimiento de energía eléctrica única en el país, una nueva planta de Vacío y unidad de Visbreaking para la producción de destilados medios como el Diesel, entre otros proyectos de gran envergadura que la ha convertido en la refinería de petróleo más importante y moderna del país.

Por otro lado, el abastecimiento de la refinería se realiza principalmente con crudos importados, especialmente de Ecuador, Venezuela, Colombia y Nigeria. Actualmente, Refinería La Pampilla tiene una capacidad de refinación de 102.000 barriles por día, lo que significa más de la mitad del volumen total de refino del país.

Cabe mencionar también, que toda la producción se realiza y controla de forma automática desde la moderna Sala de Control Centralizada.

Las ventas de Refinería La Pampilla en el mercado nacional admiten una cuota de mercado en torno al 50%, ofrece a sus clientes una amplia gama de productos elaborados con los más altos estándares de calidad. Asimismo comercializa los siguientes productos:

- Gas Licuado de Petróleo.
- Gasolina 98 BA.
- Gasolina 97.
- Gasolina 95.
- Gasolina 90.
- Gasolina 84.
- Kerosene.
- Diesel 2 BA.
- Diesel 2.
- Turbo A-1.
- Petróleo Industrial 500.
- Petróleo Industrial 6.
- Cemento Asfáltico 60/70.
- Cemento Asfáltico 85/100.
- Cemento Asfáltico 120/150.
- Asfalto Líquido MC-30.
- Asfalto Líquido RC-250.

La Refinería Talara está ubicada en la ciudad de Talara, Departamento de Piura, a 1,185 km al Norte de Lima. Es la refinería más antigua del Perú, el inicio de sus operaciones se remonta a comienzos del siglo pasado. La capacidad actual de procesamiento es de 62.0 millones de barriles diarios, siendo la segunda de mayor refinación del país.

El área que abarca la refinería es de 128.9 hectáreas, siendo sus límites:

- Por el sur, el área residencial de Punta Arenas.
- Por el oeste y el norte, con la Bahía de Talara.
- Por el este con la Av. "G" de la ciudad.

En la zona sur-este se encuentran los tanques de almacenamiento, y en la franja occidental, distribuidas en la dirección sur-norte se encuentran ubicadas las principales Unidades de Procesos: Unidad de Destilación Primaria, Unidad de Destilación al Vacío, Complejo de Craqueo Catalítico, Servicios Industriales, la Planta de Vacío II. En la bahía de Talara se encuentra el nuevo Muelle de Carga Líquida; embarcadero para la carga y descarga de multiproductos, desde GLP hasta Petróleos Industriales

La Refinería Talara, tiene un nivel de competitividad comparable con las mejores empresas del mercado internacional de hidrocarburos, lidera el sector en el Perú, suministra y comercializa productos de alto valor en los E.U.A y otros países.

Está a la vanguardia de las empresas del sector energético que utilizan tecnología moderna, conocimientos innovadores y personal competitivo. Desarrolla actividades de

refinación y comercialización de hidrocarburos en el mercado nacional e internacional, propugnando mejorar nuestra capacidad de captar las necesidades de los clientes, proveedores y propietarios.

A través de los años, la Refinería Talara ha sido objeto de diversas modificaciones, fruto del constante esfuerzo de mantenerse a la vanguardia en tecnología. La Figura 1.16, indica la Configuración de Procesos en la Refinería Talara. Hoy en día cuenta con las siguientes instalaciones:

- Unidad de Destilación Primaria.
- Unidad de Destilación al Vacío I y II.
- Complejo de Craqueo Catalítico.
- Terminal Multiproductos y Amarradero.
- Otras plantas y sistemas.



Configuración de Procesos de Refinería Talara

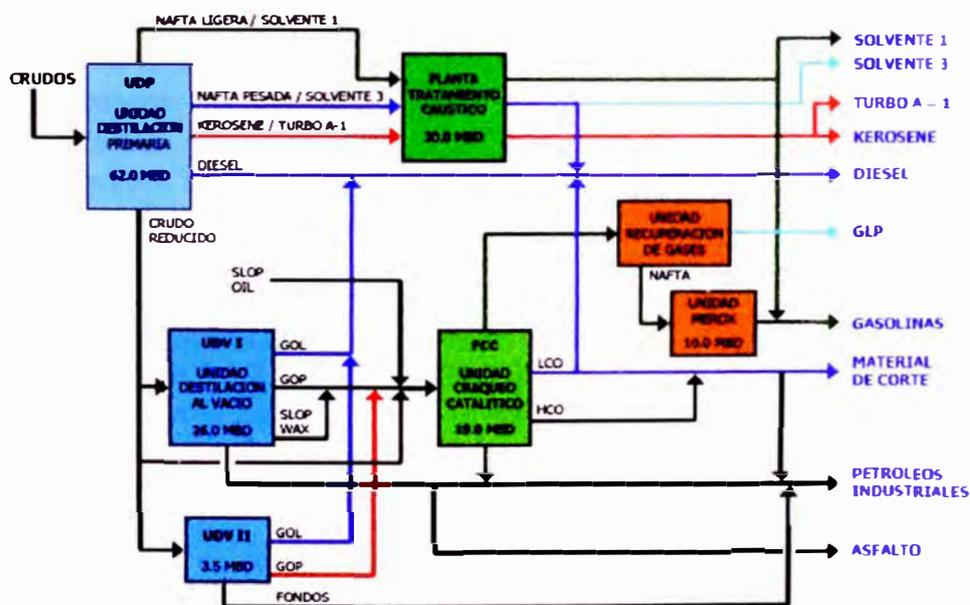


Figura 1.16 Configuración de procesos de la Refinería de Talara

La Unidad de Destilación Primaria UDP fue instalada en 1,954 por la "Standard Oil Company" (ex ESSO) propietaria anterior de la Refinería. La firma "Arthur McKee Co." fue la contratista encargada del diseño mecánico y construcción. En 1,965 la capacidad fue ampliada de 45.0 millones de barriles diarios a 62.0 millones de barriles diarios. El crudo cargado a la Unidad de Destilación Primaria UDP es precalentado hasta alcanzar 660°F (349°C), temperatura con la cual entra a la torre de destilación y donde se destilan los combustibles principales: Naftas, Kerosene, Diesel y crudo reducido.

El Complejo de Craqueo Catalítico corresponde a la tecnología UOP (Universal Oil Products) y fue instalado en 1,974. La firma JGC (Japan Gasoline Co.) fue la

contratista encargada del diseño mecánico y la construcción. El sistema de control por instrumentos es neumático.

Las oficinas de venta de la Refinería Talara se encuentran ubicadas en la zona Industrial de Talara Alta, carretera Talara-Negritos. recepciona, almacena, distribuye y vende los productos combustibles de la Refinería Talara. Asimismo, abastece de combustibles a la planta de ventas de Piura, a través de camiones cisterna, así como a otras operaciones que requieren de sus productos.

Cuenta con un moderno sistema computarizado de despacho de combustible, una balanza electrónica para pesaje de cisternas y un eficiente sistema de seguridad, control de llenado de camiones-taque, a través del sistema "bottom loading" y precintado de cisternas.

Los productos principales que comercializa son:

- Gas Licuado de Petróleo (GLP).
- Gasolinas Motor.
- Solventes.
- Turbo A-1.
- Kerosene.
- Diesel 2.
- Petróleos Industriales.
- Asfaltos de calidad de exportación.

La Refinería Conchán diseñada por la compañía Fluor Corporation de Canadá, fue inaugurada por Conchán Chevron de California en 1961. PETROPERÚ S.A., asume su administración desde 1,973. Entre 1,977 y 1,980, la Refinería Conchán suspendió sus operaciones debido a la ampliación de la Refinería La Pampilla. Es en ese último año que se vuelve a poner en servicio la Unidad de Vacío para atender la demanda de asfaltos para pavimentación.

Se encuentra ubicada en el kilómetro 26.5 de la carretera Panamericana Sur, Distrito de Lurín, Departamento de Lima. Cuenta con un terreno de 50 hectáreas a orillas del mar. La zona de producción propiamente dicha está destinada a la Refinería, sus tanques de petróleo y sus tanques de combustibles en un área de 182,100 metros cuadrados; existiendo un área de 219,900 metros cuadrados disponible para el crecimiento futuro de sus operaciones. También dispone de un área de almacenaje para productos químicos.

En 1,983, año en que el Fenómeno del Niño afectó las operaciones en la Refinería Talara, la Refinería Conchán reanudó su funcionamiento, junto con su respectiva Planta de Ventas. Hoy cumple un papel estratégico en la gestión corporativa de Petroperú S.A.

La Refinería Conchán cuenta con una moderna planta de ventas con sistemas de cargas por el fondo para camiones cisterna y facilidades para el despacho de productos, además de un moderno laboratorio para la certificación de la calidad de los combustibles. Todo

ello permite cumplir satisfactoriamente las exigencias de nuestros clientes en términos de calidad, oportunidad de entrega y servicio.

La Refinería Conchán mostrada en la Foto 1.17, se ha posicionado como la refinería modelo debido al orden y limpieza de sus instalaciones. Cuenta con tecnología de última generación en sistemas de seguridad y sus operaciones se realizan en estricto cumplimiento de las normas de protección y cuidado del medio ambiente.



Foto 1.17 Refinería Conchán

Además, se caracteriza por su gran flexibilidad operativa para procesar diversos tipos de petróleo en sus unidades; sus asfaltos son el producto de mayor reconocimiento internacional, gracias a su excelente calidad.

El nivel de ventas de esta planta la ha convertido en la segunda de mayor importancia en Petroperú S.A. Diariamente se atienden un promedio de 160 camiones-tanque cisternas.

Su volumen de ventas ha llevado a realizar mejoras en la atención e infraestructura, llegando a contar inclusive, con una oficina bancaria que facilita las transacciones de los clientes mayoristas y minoristas.

Los productos que comercializa son:

- Gasolinas Motor.
- Solventes.
- Kerosene.
- Diesel 2.
- Petróleos Industriales.
- Asfaltos de calidad de exportación.

Con la puesta en servicio del Sistema de Control Distribuido mostrado en la Foto 1.18, se constituye el primer sistema instalado en el país lográndose óptimas condiciones de operación y calidad superior de sus productos.



Foto 1.18 Sistema de control distribuido

Cuenta con un volumen de almacenamiento de hasta 840 millones de barriles y un amarradero submarino para atender buques tanque de hasta 75,000 toneladas, contando para ellos con tres líneas submarinas para productos negros, blancos y químicos.

La Figura 1.19 corresponde al diagrama de flujo de la refinería Conchán: la Unidad de Destilación Primaria ha sido ampliada su capacidad de 8 millones de barriles diarios a 13.5 millones de barriles diarios; asimismo la Unidad de Destilación al Vacío pasó de los 4.4 millones de barriles diarios de su diseño original, a los actuales 10 millones de barriles diarios.

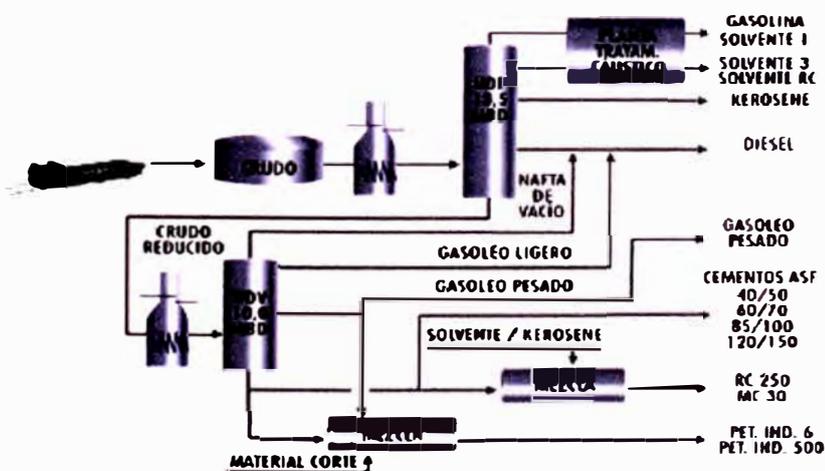


Figura 1.19 Diagrama de flujo Refinería Conchán

El petróleo crudo, extraído de los pozos, es separado en sus constituyentes o fracciones en una refinería. Principalmente esta separación es llevada a cabo por destilación. Después de la separación, los constituyentes son refinados más cuidadosamente o procesados en productos que cumplan requerimientos específicos.

De esta manera es como el asfalto, parafina, nafta, aceites lubricantes y otros productos útiles de alta calidad se obtienen en una refinería de petróleo, dependiendo de la naturaleza del crudo que está siendo procesado.

El primer paso de la refinación del petróleo crudo se origina en las torres de "destilación primaria" o también llamada torre de "destilación atmosférica". La destilación del petróleo se realiza mediante las llamadas, torres de fraccionamiento como lo muestra la Figura 1.20.

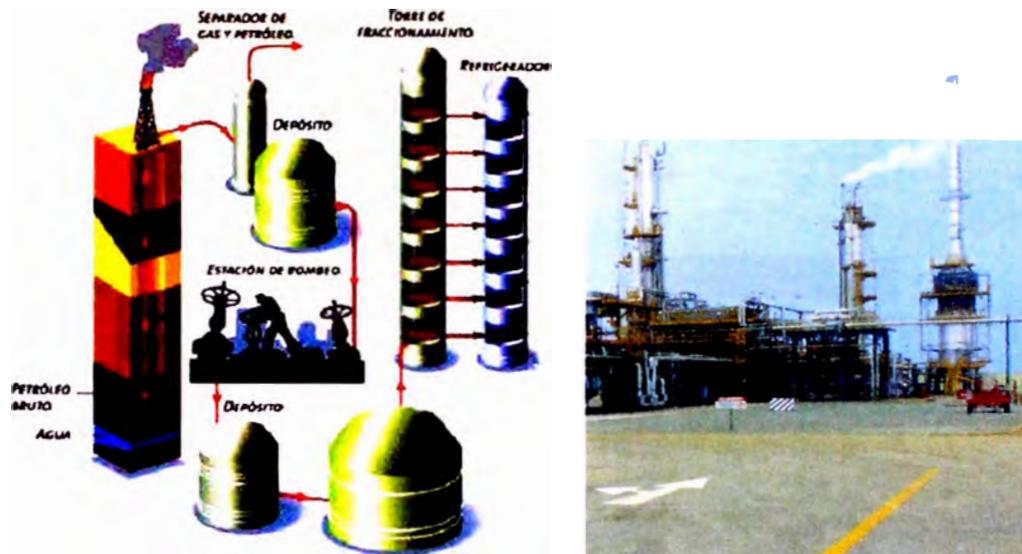


Figura 1.20 Torre de destilación fraccionada del petróleo crudo

El proceso de la refinación es la destilación del crudo, que consiste en:

- Calentar el petróleo en un horno a altas temperaturas.
- Circula por torres de fraccionamiento, en las que la temperatura baja gradualmente desde el fondo hasta el tope de la torre. Las torres están provistas de dispositivos llamados "bandejas" en los que los productos se condensan y separan de acuerdo a su peso molecular.
- Los distintos productos se van extrayendo en forma continua.

La herramienta básica de refinado es la unidad de destilación. El petróleo crudo empieza a vaporizarse a una temperatura algo menor que la necesaria para hervir el agua. Los hidrocarburos con menor masa molecular son los que se vaporizan a temperaturas más bajas, y a medida que aumenta la temperatura se van evaporando las moléculas más grandes. El primer material destilado a partir del crudo es la fracción de gasolina, seguida por la nafta y finalmente el kerosene.

En las antiguas destilerías, el residuo que quedaba en la caldera se trataba con ácido sulfúrico y a continuación se destilaba con vapor de agua. Las zonas superiores del aparato de destilación proporcionaban lubricantes y aceites pesados, mientras que las zonas inferiores suministraban ceras y asfalto.

A finales del siglo XIX, las fracciones de gasolina y nafta se consideraban un estorbo porque no existía una gran necesidad de las mismas; la demanda de kerosene también comenzó a disminuir al crecer la producción de electricidad y el empleo de luz eléctrica.

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

Sin embargo, la invención del automóvil hizo que se incrementara la demanda de gasolina, con el consiguiente aumento de la necesidad de crudo.

En la parte inferior de la torre mostrada en la Figura 1.21 se extrae el crudo reducido, el cual será sometido a nuevos procesos de fraccionamiento para permitir obtener el derivado asfáltico que es la base para preparar los distintos asfaltos utilizados en la pavimentación de carreteras, calles y caminos. En su interior, estas torres operan a una presión cercana a la atmosférica y están divididas en numerosos compartimientos a los que se denominan "bandejas" o "platos".

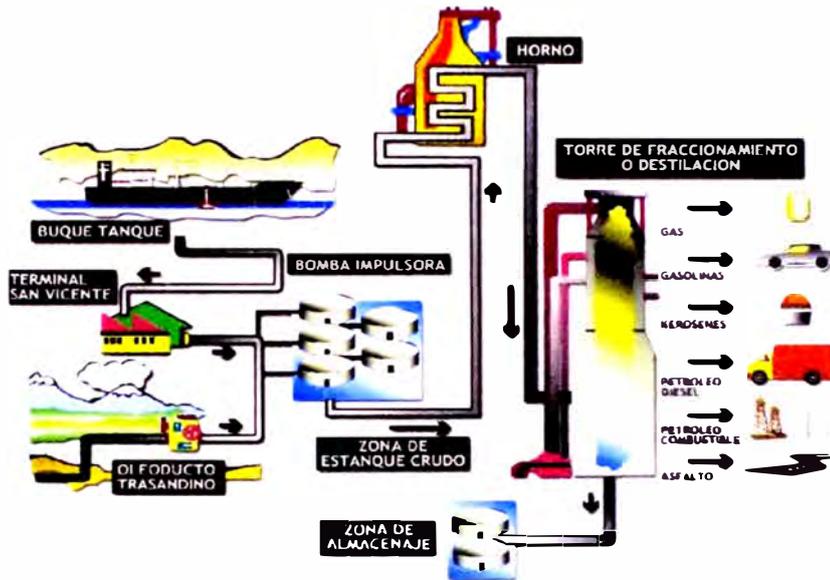


Figura 1.21 Procesos de fraccionamiento

Cada bandeja tiene una temperatura diferente y cumple la función de fraccionar los componentes del petróleo. El crudo llega a estas torres después de pasar por un horno, donde se "cocina" a temperaturas de hasta 400°C que lo convierten en vapor, la Tabla 1.1 indica las fracciones fundamentales obtenidas a distintas temperaturas o rangos de ebullición; a partir del proceso de destilación del crudo del petróleo se obtienen los productos indicados en la Figura 1.22.

% SALIDA	RANGO DE EBULLICIÓN (°C)	ÁTOMOS DE C	PRODUCTOS
2	<30	1 a 5	Hidrocarburos ligeros
15 a 20	30 – 200	5 a 12	Gasolinas, naftas
5 a 20	200 – 300	12 a 15	Kerosene
10 a 40	300 – 400	15 a 25	Gas-oil
Residuo	400 +	25 +	Lubricantes, asfalto

Tabla 1.1 Productos obtenidos a partir de las fracciones fundamentales

Fuente: Instituto del Asfalto Manual del Asfalto

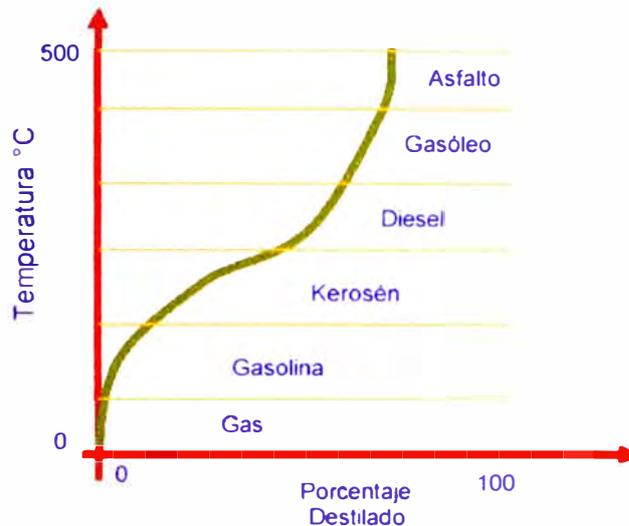


Figura 1.22 *Productos y temperaturas típicas de destilación*
 Fuente: Instituto del Asfalto Manual del Asfalto

Cuando cada componente vaporizado encuentra su propia temperatura, se condensa y se deposita en su respectiva bandeja, a la cual están conectados ductos por los que se recogen las distintas corrientes que se separaron en esta etapa. Al fondo de la torre cae el "crudo reducido", es decir, aquel que no alcanzó a evaporarse en esta primera etapa. Se cumple así el primer paso de la refinación como lo ilustra la Figura 1.23.

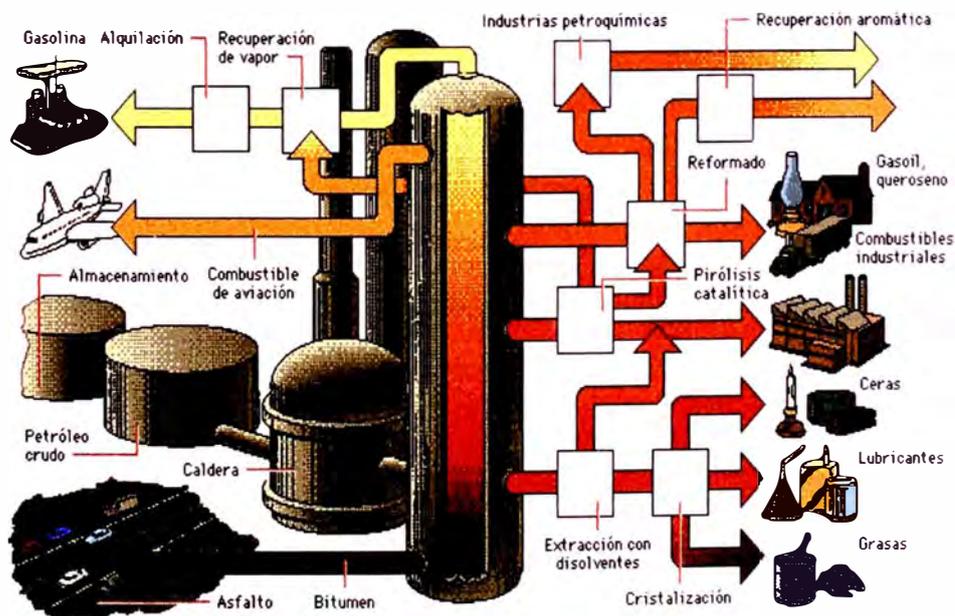


Figura 1.23 *Refinado del petróleo crudo*

Así, por ejemplo, la torre de "destilación al vacío" recibe el crudo reducido de la primera etapa y obtiene gasóleos pesados, bases parafínicas y residuos. La Unidad de Craqueo Catalítico o Cracking recibe gasóleos y crudos reducidos para producir fundamentalmente gasolina y gas propano. Las unidades de Recuperación de Vapores

reciben los gases ricos de las demás plantas y obtienen gas combustible, gas propano, propileno y butanos.

La planta de mezclas es en últimas la que recibe las distintas corrientes de naftas para obtener la gasolina motor, extra y corriente. La unidad de aromáticos produce a partir de la nafta: tolueno, xilenos, benceno, ciclohexano y otros petroquímicos. La de parafinas recibe destilados parafínicos y nafténicos para sacar parafinas y bases lubricantes.

De arriba hacia abajo según lo muestra la Figura 1.24, se obtienen los productos siguientes: gas, gasolinas, kerosene, petróleo diesel, petróleo combustible y asfaltos. Algunos de éstos, como la gasolina, kerosene y petróleo diesel, son productos ya finales.

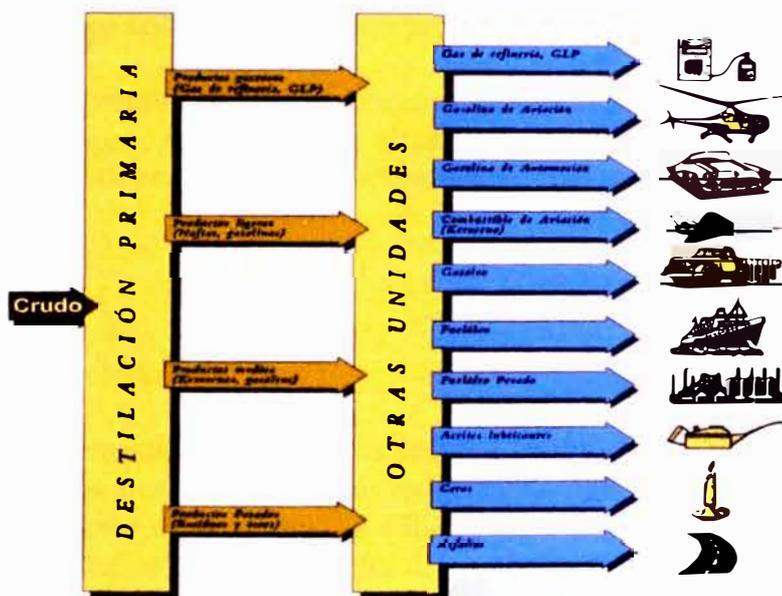


Figura 1.24 Productos obtenidos de la destilación

Las demás corrientes se envían a otras torres y unidades para someterlas a nuevos procesos, al final de los cuales se obtendrán los demás derivados del petróleo

1.11 Propiedades físicas del asfalto

Las cantidades de asfalto residual varían según las características del crudo, se obtienen artificialmente como producto de la refinación; pudiendo oscilar entre el 10% y el 70%. Este asfalto se produce en una variedad de tipos y grados que van desde sólidos duros y quebradizos a líquidos casi tan fluidos como el agua. La forma semisólida conocida como betún asfáltico es el material básico.

Los productos asfálticos líquidos se preparan, generalmente, diluyendo o mezclando los betunes asfálticos con destilados del petróleo o emulsificándolos con agua. Actualmente más del 90% de los asfaltos utilizados como ligantes en las mezclas asfálticas son producidos por la destilación fraccionada del crudo. Debido a que el asfalto es la base o el constituyente pesado del petróleo crudo, no se evapora o hierve cuando es destilado. En consecuencia, el asfalto es obtenido como residuo o producto residual, y es valioso para una gran variedad de usos arquitectónicos o ingenieriles.

El asfalto es además un material bituminoso porque contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono (CS₂). El alquitrán obtenido de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún. Consecuentemente, tanto el petróleo asfáltico como el alquitrán son referidos en forma conjunta, como materiales bituminosos. Sin embargo, el asfalto de petróleo no debe ser confundido con el alquitrán, ya que sus propiedades difieren en forma considerable.

El asfalto de petróleo está compuesto casi enteramente por betún, mientras que en el alquitrán el contenido de betún es relativamente bajo. En vista de estas diferencias es necesario que los productos del alquitrán y los asfaltos de petróleo sean considerados y tratados como elementos completamente separados. Para uso en pavimentos es comúnmente llamado asfalto de pavimentación o cemento asfáltico para distinguirlo del asfalto hecho para otros usos, como ser con propósitos industriales o para techados.

El asfalto para pavimentación a temperatura atmosférica normal o ambiente es un material negro, pegajoso, semi-sólido y altamente viscoso. Su comportamiento físico según la Figura 1.25 depende de la temperatura al cual se lo somete presentando los siguientes estados:

- Sólido Elástico.
- Viscoelástico.
- Fluido Newtoniano.

Está compuesto primordialmente de moléculas complejas de hidrocarburos, pero también contiene otros átomos, como son: oxígeno, nitrógeno y sulfuro. Debido a que el asfalto de pavimentación es pegajoso, se adhiere a las partículas del agregado y puede ser usado para cementarlas o ligarlas dentro del concreto asfáltico.

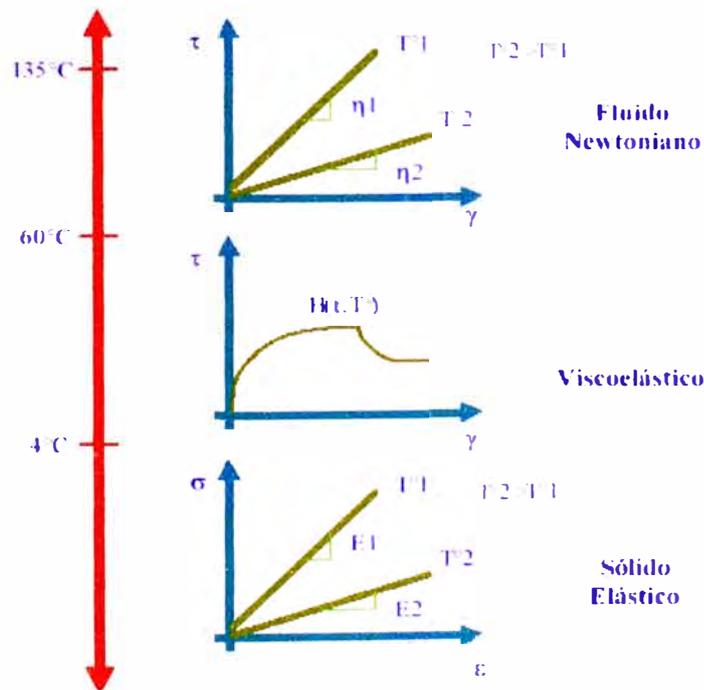


Figura 1.25 Comportamiento físico del asfalto

El asfalto para pavimentación es impermeable y no lo afecta la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Es llamado un material termoplástico porque se ablanda cuando es calentado y se endurece cuando se enfría. Esta combinación única de características y propiedades es una razón fundamental para que el asfalto sea un material de pavimentación importante.

El asfalto es de naturaleza coloidal. Los componentes de más alto peso molecular constituyen la fase dispersa (micelas) y los componentes de bajo peso molecular constituyen la fase continua (intermicelar). Los asfaltenos constituyen la fracción del asfalto que permanece disuelta cuando se precipitan los asfaltos en la solución disolvente. En el asfalto no diluido, los maltenos forman un aceite viscoso, castaño oscuro. Los porcentajes de asfaltenos y maltenos presentes en el asfalto se pueden determinar en un disolvente dado y se deben definir en términos de ese disolvente a fin de que tengan sentido.

Describiendo la estructura del coloide, las resinas circundan en forma inmediata a los asfaltenos y los aceites rodean a ese compuesto. Dado que es difícil determinar las diferentes proporciones de hidrocarburos presentes en el asfalto, se usa la relación entre el número de átomos de carbono y el número de átomos de hidrógeno (relación C/H) para caracterizar la composición química de las fracciones del asfalto. La relación C/H indica el grado de saturación de la mezcla de hidrocarburos y se puede correlacionar con las propiedades de los diferentes asfaltos.

Según el grado de aromaticidad de los maltenos y la naturaleza de la concentración de los asfaltenos, se pueden formar dos tipos de estructuras:

- Asfalto tipo sol, en los cuales las micelas (conglomerado de moléculas que constituye una de las fases de los coloides) del asfalto se mueven libremente entre sí.
- Asfalto tipo gel, en el cual las micelas, por atracción mutua, forman una estructura en toda la masa bituminosa.

Los asfaltos tipo sol tienen alta ductilidad, gran susceptibilidad a los cambios de temperatura, su elasticidad no puede medirse y tiene un elevado desarrollo de resistencia con el tiempo. Los asfaltos tipo gel tienen baja ductibilidad, baja susceptibilidad a los cambios de temperatura, su elasticidad no puede medirse y tiene un bajo desarrollo de resistencia con el tiempo. Hay un tipo de asfaltos llamados medianos que tiene una estructura intermedia entre sol y gel. Los pavimentos asfálticos son a veces, no con toda propiedad, llamados pavimentos flexibles, quizás como consecuencia de que el asfalto sea un material viscoso y termoplástico.

El asfalto de petróleo es el principal asfalto de pavimentación usado actualmente aunque aún se emplee en los E.U.A y otros países asfalto nativo o natural. El alcance del asfalto nativo o natural usado es, sin embargo, relativamente pequeño. En efecto, sólo unos pocos miles de toneladas de asfalto natural se emplean en los E.U.A. cada año, comparado con los 35 millones o más de toneladas de asfalto de petróleo. El asfalto natural es durable y ha sido usado a lo largo de toda la historia. El asfalto de petróleo moderno tiene las mismas características de durabilidad, pero tiene la importante

ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños. El asfalto natural no es uniforme y contiene cantidades variables de materias extrañas.

El asfalto es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. Componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución y que se obtiene como residuo de la destilación al vacío del crudo pesado. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de agregados mostrados en la Foto 1.26 con las que se le combina usualmente.



Figura 1.26 Cemento asfáltico y agregados o agregados

Su color varía entre el café oscuro y el negro; de consistencia sólida, semisólida o líquida, dependiendo de la temperatura a la que se exponga o por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

1.12 Composición química del asfalto

Es de mucha utilidad un amplio conocimiento de la constitución y composición química de los asfaltos, para el control de sus propiedades físicas y así obtener un mejor funcionamiento en la pavimentación.

La mayoría de los hidrocarburos livianos se eliminan durante el proceso de refinación, quedando los más pesados y de moléculas complejas. Al eliminar los hidrocarburos más ligeros de un crudo, los más pesados no pueden mantenerse en disolución y se van uniendo por absorción a las partículas coloidales ya existentes, aumentando su volumen dependiendo del grado de destilación. Las moléculas más livianas constituyen el medio dispersante o fase continua. Los hidrocarburos constituyentes del asfalto forman una solución coloidal en la que un grupo de moléculas de los hidrocarburos más pesados (asfaltenos) están rodeados por moléculas de hidrocarburos más ligeros (resinas), sin que exista una separación entre ellas, sino una transición, finalmente, ocupando el espacio restante los aceites.

Un concepto más amplio sobre la constitución es que el asfalto consta de tres componentes mayoritarios. El primero se describe como una mezcla de asfaltenos que son moléculas complejas de alto peso molecular, insoluble en hidrocarburos parafínicos y soluble en compuestos aromáticos como el benceno. El segundo componente descrito es una mezcla de resinas y el tercero aceite mineral. Estos tres constituyen un sistema coloidal como el explicado anteriormente. Los asfaltenos cargan con la responsabilidad de las características estructurales y de dureza de los asfaltos, las resinas le proporcionan sus propiedades aglutinantes y los aceites la consistencia adecuada para hacerlos trabajables.

Cerca del 90% al 95% del peso del asfalto esta compuesto por carbono e hidrógeno, o lo que se había denominado como hidrocarburos. La porción restante consiste de dos tipos de átomos; metálicos o diatómicos. Las moléculas diatómicas, como el oxígeno, nitrógeno o azufre, muchas veces reemplazan a los átomos de carbón en la estructura molecular del asfalto.

Esto contribuye a muchas de las singulares propiedades químicas y físicas de los asfaltos; causando mucha interacción entre las moléculas. El tipo y cantidad de moléculas diatómicas que existan en el asfalto se deberá tanto a la fuente de crudo como a la edad de éste. Las moléculas como el azufre, reaccionan más fácilmente que el carbón y el hidrógeno para incorporar al oxígeno.

La oxidación es la parte primaria o inicial en el contexto del proceso de envejecimiento de un asfalto, la evaporación o volatilización y degradación asociados con la fotodegradación por la luz también contribuyen al envejecimiento. Los átomos metálicos, como el níquel, el vanadio o el hierro están presentes pero muy insignificadamente en casi menos del 1%. La importancia de la presencia de los indicados metales es que actúan como huella digital de la fuente de crudo de la que proviene el asfalto.

Los componentes del asfalto pueden ser separados y evaluados usando la solubilidad de sus moléculas en diferentes disolventes. Los métodos más usados son el método cromatográfico de Corbett (usado por la ASTM) y el método de precipitación de Rostler. Las fracciones genéricas determinadas en estos métodos son mezclas complejas con propiedades variables y no son especies químicas discretas.

La estructura molecular del asfalto es extremadamente compleja y varía en tamaño y tipo de enlace químico con cada fuente o mezcla.

Existen tres tipos básicos de moléculas: cíclicas, acíclicas y aromáticas. Los cíclicos o nafténicos, son anillos de carbono saturados, tridimensionales. Los acíclicos o parafínicos son lineales, en tres dimensiones, en forma de cadena y son grasos por naturaleza. Los aromáticos son planos, anillos estables de carbono que se agrupan fácilmente y tienen un fuerte olor.

Todos estos tipos interactúan para manejar el comportamiento físico-químico del asfalto. Los productos asfálticos obtenidos son:

- 1) Cemento Asfáltico. Es un asfalto refinado que reúne ciertas características para ser usado en pavimento asfáltico.
- 2) Asfalto Líquido. Material asfáltico de consistencia blanda o fluida, producto de la mezcla de asfalto con disolventes que al entrar en contacto con los agentes atmosféricos éstos se evaporan.
- 3) Emulsión Asfáltica. Dispersión fina de asfalto y agua estabilizada por medio de un emulsionante, se clasifican en:
 - Emulsión Aniónica (básica). Es aquella en que la polaridad del emulsionante es de carga negativa y descarga en el ánodo es ideal para agregados calizos que se ionizan positivamente.
 - Emulsión Catiónica (ácida). Es aquella en que la polaridad del emulsionante es de carga positiva y descarga en el cátodo es ideal para agregados silíceos que se ionizan negativamente.
- 4) Asfaltos Modificados. Son cementos asfálticos con adiciones de materiales minerales o químicos para modificar su comportamiento o propiedades mecánicas

Los enlaces sosteniendo juntas las moléculas son débiles por lo que se rompen fácilmente con calor o presión; lo que explica la viscosidad del asfalto. En el asfalto, las moléculas polares forman redes dándole a éste sus propiedades elásticas, y las no polares forman el cuerpo alrededor de la red contribuyendo con sus propiedades viscosas.

Estas moléculas, polares y no polares, existen de forma homogénea. La formación de la red polar en la mezcla caliente del asfalto depende del tipo de agregado mineral o del medio ambiente al momento de la mezcla. La mezcla homogénea polar, no-polar es esencial para el buen desenvolvimiento del asfalto.

1.13 Ensayos de laboratorio para asfaltos

Los ensayos a realizar en laboratorio para determinar los parámetros y características de los asfaltos son:

- a) Ensayos Empíricos.
 - Penetración.
 - Punto de Ablandamiento.
 - Ductilidad.
- b) Ensayos Relativos.
 - Viscosímetros capilares Viscosidad Absoluta y Relativa.
- c) Ensayos Absolutos.
 - Platos paralelos.
 - Platos rotacionales.
 - Cilindros concéntricos.

La Tabla 1.2 indica los Ensayos de Laboratorio para asfalto según las Normas Técnicas Peruanas NPT y las Normas de la ASTM.

ENSAYOS EN ASFALTOS	NTP	ASTM
Penetración	---	D5
Punto de inflamación	321.058	D92
Solubilidad en tricloroetileno	---	D2042
Ensayo de la mancha (Oliensis)	---	AASHTO T102
Ductilidad	---	D113
Película delgada (Incluye: pérdida por calentamiento, penetración del residuo, ductilidad del residuo)	---	D1754
Punto de ablandamiento		D36
Viscosidad Saybolt Furol	321.070	D244 / D88
Índice de penetración (incluye 3 ensayos de penetración)	---	D5
Control de calidad de asfalto emulsificado (Incluye: Viscosidad SF, estabilidad al almacenamiento, carga de partícula, tamizado, destilación, ensayos en residuo: penetración, ductilidad y solubilidad)	321.059	D2397 / D977
Peso específico	321.084	D70
Viscosidad cinemática	---	D2170
Control de calidad de asfaltos líquidos (Incluye: viscosidad cinemática, punto de inflamación, destilación y determinación del residuo, ensayos en residuo: penetración, ductilidad y solubilidad; contenido de agua)	321.026 321.027 321.028	D2026 D2027 D2028
Ensayos al residuo de destilación (Incluye: destilación, penetración, ductilidad y solubilidad)	---	---
Contenido de agua	321.067	D95
Control de calidad de cementos asfálticos (Incluye: penetración, punto de inflamación, solubilidad, ductilidad, pérdida por calentamiento, penetración retenida y ductilidad del residuo)	321.051	D946
Pérdida por calentamiento	---	D1754
Estabilidad al almacenamiento	321.082	D244

Carga de partícula	321.061	D244
Tamizado malla N° 20	321.073	D244
Destilación y determinación del residuo	321.068	D244
Evaporación y determinación del residuo	321.064	D244
Sedimentación a los 5 días	321.076	D244
Ensayos al residuo de evaporación (Incluye: evaporación y determinación del residuo, penetración, solubilidad, punto de ablandamiento)	---	---
Control de calidad de emulsión catiónica modificada con polímeros (Incluye: Viscosidad SF, Estabilidad al almacenamiento, carga de partícula, tamizado, sedimentación, evaporación, ensayos en residuo: penetración, solubilidad y punto de ablandamiento)	321.141	---

Tabla 1.2 Ensayos de laboratorio para asfalto

1.13.1 Ensayos a cementos asfálticos

a. Ensayo de viscosidad

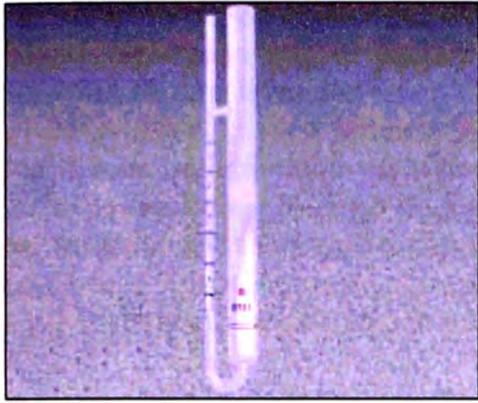
Las especificaciones de los cementos asfálticos clasificados según su viscosidad se basan por lo común en los rangos de viscosidad a 60°C (140°F). También se especifica generalmente una viscosidad mínima a 135°C (275°F). El propósito es dar valores límites de consistencia a estas dos temperaturas.

Se elige la temperatura de 60°C (140°F) porque se aproxima a la máxima temperatura superficial de las calzadas en servicio pavimentadas con mezclas asfálticas en los E.U.A y en cualquier otra parte del mundo; y la de 135°C (275°F), porque se aproxima a la de mezclado y distribución de mezclas asfálticas en caliente para pavimentación.

Para el ensayo de viscosidad a 60°C (140°F) se emplea un viscosímetro de tubo capilar. Los dos tipos más comunes en uso son:

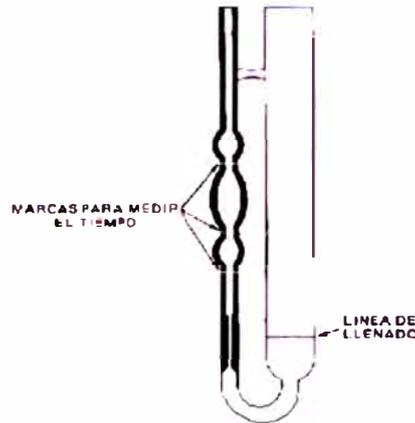
- Viscosímetro de Vacío del Asphalt Institute mostrado en la Figura 1.27.
- Viscosímetro de Vacío de Cannon-Manning mostrado en la Figura 1.28.

Se calibran con aceites normalizados. Para cada viscosímetro se obtiene un "factor de calibración", cuyo uso se describe luego. Generalmente, los viscosímetros vienen calibrados por el fabricante quien suministra estos factores.



Viscosímetros del Asphalt Institute
 ASTM D 2171 / AASHTO T 202

Figura 1.27 *Viscosímetro de vacío del Asphalt Institute*



Figural.28 *Viscosímetro de vacío de Cannon-Manning*

El viscosímetro se coloca en un baño de agua a temperatura constante, controlado termostáticamente a este equipo se lo conoce como Baño Viscosímetro de Alta Temperatura mostrado en la Foto 1.29. Se vierte asfalto precalentado en el tubo grande hasta que alcanza el nivel de la línea de llenado. El viscosímetro lleno se mantiene en el baño por un cierto tiempo hasta que el sistema alcance la temperatura de equilibrio de 60°C (140°F). Se aplica un vacío parcial en el tubo pequeño para inducir el flujo, porque el cemento asfáltico a esta temperatura es muy viscoso para fluir fácilmente a través de los tubos capilares del viscosímetro.

En la Foto 1.30, se presenta un dispositivo para el control del vacío denominado Regulador de Vacío. También se conecta al sistema una bomba de vacío. Luego que el baño, viscosímetro y el asfalto se han estabilizado en 60°C (140°F), se aplica vacío y se mide con un cronómetro el tiempo, en segundos, que tarda el cemento asfáltico en fluir entre dos de las marcas. A continuación se multiplica este tiempo por el factor de calibración del viscosímetro y finalmente se obtiene el valor de la viscosidad en poises siendo por tanto la unidad patrón para medir la viscosidad absoluta.



Baño de Viscosímetro de Alta Temperatura
 ASTM D 445, D 2170, D 2171, AASHTO T 201, T 202

Foto 1.29 *Baño de viscosímetro de alta temperatura*

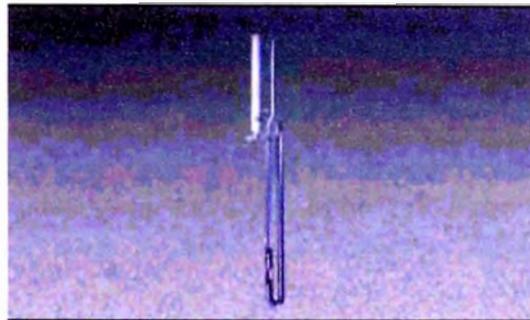


Regulador Digital de Vacío
Distribuidor de Vacío
 ASTM D 2171, AASHTO T 202

Foto 1.30 *Regulador y distribuidor de vacío*

El viscosímetro de vacío del Asphalt Institute tiene muchas marcas para medir el tiempo. Seleccionando el par apropiado, se puede usar para asfaltos con una amplia variación de consistencias.

Los cementos asfálticos para pavimentación son lo suficientemente fluidos a 135°C (275°F) para fluir a lo largo de tubos capilares bajo fuerzas gravitacionales únicamente. Por lo tanto, se usa un tipo distinto de viscosímetro, ya que no se requiere vacío. El más usado es el Viscosímetro de Brazos o Varillas Cruzadas Zeitfuchs mostrado en la Foto 1.31. También se lo calibra con aceites normalizados.



Viscosímetro Zeifuchs® de Varillas Cruzadas y Soporte
ASTM D 2170, AASHTO T 201

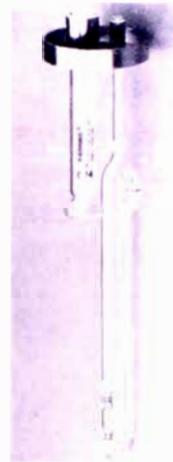


Foto 1.31 Viscosímetro Zeifuchs de varillas cruzadas y soporte

Como estos ensayos se hacen a temperatura constante de 135°C (275°F), para el baño se requiere un aceite claro apropiado. Se coloca el viscosímetro en el Baño de Viscosímetro de Temperatura Constante mostrado en la Figura 1.32 y se echa el asfalto en la abertura mayor hasta que llegue a la línea de llenado. Como antes, se deja que el sistema alcance la temperatura de equilibrio.

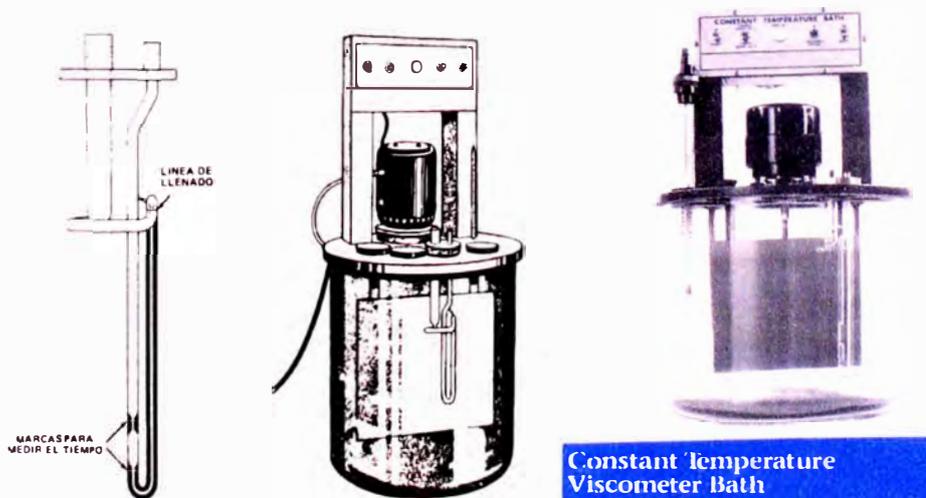


Figura 1.32 Baño de viscosímetro de temperatura constante

Para que el asfalto comience a fluir por el sifón que está justo encima de la línea de llenado, es necesario aplicar una pequeña presión en la abertura mayor o un ligero vacío en la menor. Entonces el asfalto fluiría hacia abajo en la sección vertical del tubo capilar debido a la gravedad. Cuando el asfalto alcanza la primera de las marcas se comienza a medir el tiempo hasta que alcance la segunda marca. El intervalo de tiempo, multiplicado por el factor de calibración del viscosímetro, da como resultado la viscosidad cinemática medida en centistokes.

Es necesario destacar que las medidas de viscosidad para 135°C (275°F) se expresan en centistokes y para 60°C (140°F), en poises. En el ensayo de viscosidad cinemática, la gravedad induce el flujo (resultados en centistokes) y la cantidad de flujo a través del tubo capilar depende de la densidad del material.

En el ensayo de viscosidad absoluta, los resultados se dan en poises, y el flujo a través del tubo capilar se induce por medio de un vacío parcial, siendo los efectos gravitacionales despreciables. Estas unidades poises y stokes o centipoises y centistokes pueden ser convertidas unas en otras aplicando, simplemente, un factor debido a la densidad.

b. Ensayo de penetración

La consistencia del asfalto puede medirse con un método antiguo y empírico, como es el ensayo de penetración, en el cual se basó la clasificación de los cementos asfálticos en grados normalizados.

En la Figura 1.33 puede verse el ensayo de penetración normal. Consiste en calentar un recipiente con cemento asfáltico hasta la temperatura de referencia, 25°C (77°F), en un baño de agua a temperatura controlada. Se apoya una aguja normalizada, de 100 g de peso sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos. La medida de la penetración es la longitud que penetró la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0,1 mm.

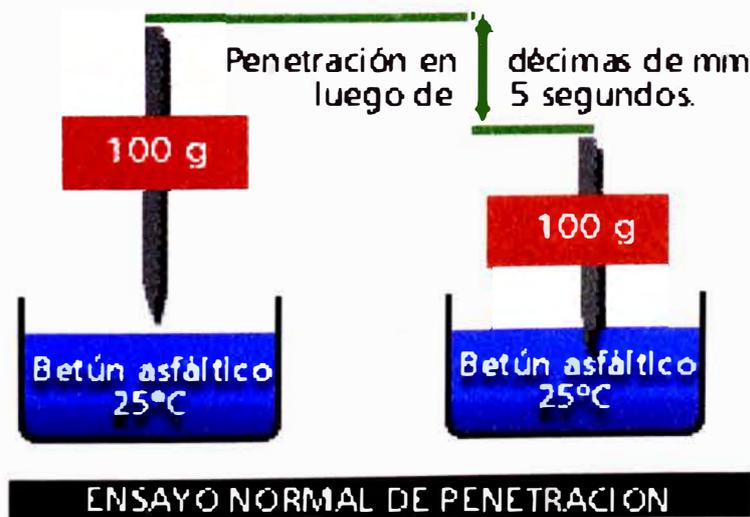


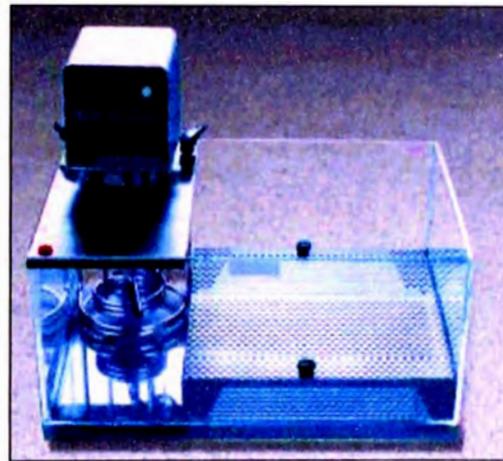
Figura 1.33 Ensayo de penetración

Ocasionalmente el ensayo de penetración se realiza a distinta temperatura en cuyo caso puede variarse la carga de la aguja, el tiempo de penetración, o ambos.

Los equipos utilizados para realizar este ensayo son: El Penetrómetro de Asfalto mostrado en la Foto 1.34 se utiliza para medir la consistencia de las muestras bituminosas está disponible en versión estándar o en versión semi-automática; dispone de un controlador automático que suelta el émbolo y muestra un tiempo de ensayo y el Baño para Penetrómetro presentado en la Foto 1.35 se utiliza en los procedimientos de ensayos de penetración de asfalto y consiste de un baño de temperatura constante para precalentar las muestras antes de someterlas a ensayo. El baño ofrece el control preciso de la temperatura que es necesario para estas aplicaciones, manteniendo una estabilidad de la temperatura.



Penetrómetro de Asfalto
ASTM D 5 (ASTM D 495)



Baño para Penetrómetro
ASTM D 1545 (ASTM D 1545)

Figura 1.34 Penetrómetro de asfalto **Figura 1.35 Baño para penetrómetro**

c. Ensayo de punto de inflamación

Cuando se calienta un asfalto, libera vapores que son combustibles. El punto de inflamación, es la temperatura a la cual puede ser calentado con seguridad un asfalto, sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores liberados, en presencia de una llama libre.

Esta temperatura, sin embargo, está bastante por debajo, en general, de la que el material entra en combustión permanente. Se la denomina punto de combustión o ignición (flash point), y es muy raro que se use en especificaciones para asfalto.

El aparato para la determinación del Punto de Inflamación mostrado en la Foto 1.36, se utiliza para determinar los puntos de inflamación de todos los productos derivados del petróleo, excepto aceites y productos con puntos de inflamación por debajo de 79°C (175°F).

El dispositivo consiste de un aplicador de llama, copa de bronce, soporte del termómetro, placa de calentamiento y calentador eléctrico. El aplicador se alinea exactamente según las especificaciones y gira sobre si mismo para aplicar la llama a

determinados intervalos de temperatura. El soporte del termómetro dispone de bisagras que permiten elevarlo para facilitar la colocación y extracción de la copa.

El calentador de 750 Vatios, de níquel-cromo, va montado sobre una base robusta de fundición, e incorpora un transformador sin pasos variable para un control adecuado del grado de elevación de la temperatura, de acuerdo con las especificaciones. El ensamblaje completo está contenido en un alojamiento de acero inoxidable con orificios de enfriamiento.



Aparato para la Determinación del Punto de Inflamación Cleveland de Copa Abierta
ASTM D 567-97 AASHTO T 411

Foto 1.36 Aparato para la determinación del punto de inflamación

El ensayo más usado para medir el punto de inflamación del cemento asfáltico es el de "Vaso Abierto Cleveland" (COC), que consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto, y calentarlo con un aumento de temperatura normalizado.

Se pasa una pequeña llama sobre la superficie del asfalto a intervalos de tiempo estipulados. El punto de inflamación es la temperatura a la cual se han desprendido suficientes volátiles como para provocar una inflamación instantánea.

d. Ensayo de película delgada en horno

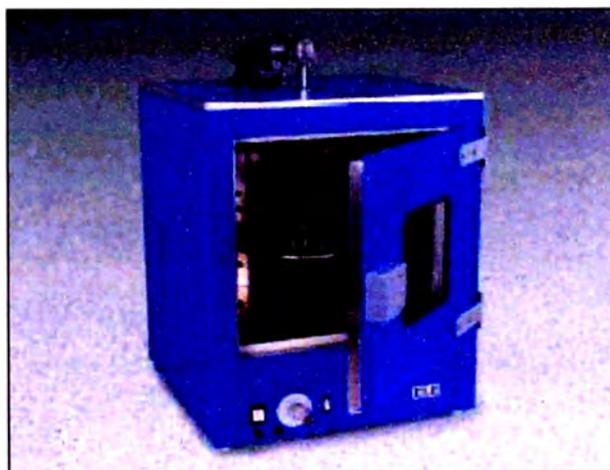
Este no es en realidad un ensayo, sino un procedimiento destinado a someter a una muestra de asfalto a condiciones de endurecimiento aproximadas a aquellas que ocurren durante las operaciones normales de una planta de mezclado en caliente. Para medir la resistencia al endurecimiento del material bajo estas condiciones, se hacen al asfalto ensayos de penetración o de viscosidad antes y después del ensayo.

Se coloca una muestra de 50 ml de cemento asfáltico en un recipiente cilíndrico de fondo plano de 140 mm (5,5 pulgadas) de diámetro interno y 10 mm (3/8 pulgada) de profundidad. El espesor de la capa de asfalto es de 3 mm (1/8 pulgada) aproximadamente.

El recipiente conteniendo a la muestra se coloca en un plato que gira alrededor de 5 a 6 revoluciones por minuto durante 5 horas dentro de un horno ventilado mantenido a 163°C (325 °F). Luego se vuelca el cemento asfáltico en un recipiente normalizado para hacerle el ensayo de viscosidad o de penetración.

El Horno de Película Fina, mostrado en la Figura 1.37, es horno de doble uso está diseñado para determinar la pérdida en peso de bitumen y aceites fundentes (pérdida en ensayo de calor) y el efecto del calor y del aire sobre materiales asfálticos (ensayo de película fina). La unidad está muy aislada y tiene una puerta de vidrio doble para ver la cámara de ensayo, el termómetro y las muestras.

La temperatura está controlada a 163°C, +/-1°C por medio de un controlador y termostato de temperatura variable. Se suministran con el horno dos plataformas rotativas; una acepta 9 cajas de muestras estándar de 3 onzas para el ensayo de pérdida por calor, y la otra acepta dos bandejas de ensayo de 140 mm de diámetro para el ensayo de película fina. La plataforma gira una velocidad de 5 a 6 rpm por medio de un motor externo.



Perdida por Calor/Horno de Película Fina
ASTM D 6 (E 174) / AASHTO T 47 (E 174) (BS 2000 4)

Figura 1.37 Horno de película fina

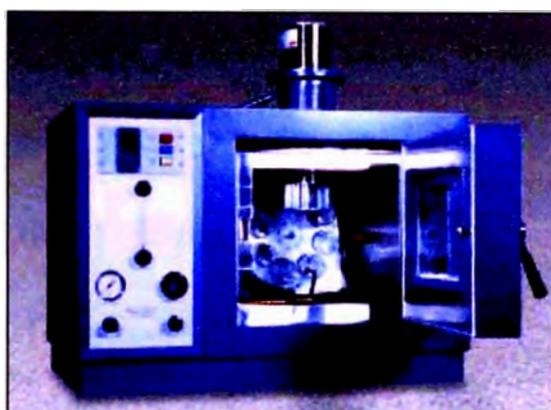
e. Ensayo de película delgada rodante en horno

Este ensayo es una variante del anterior, desarrollado por agencias del oeste de los E.U.A. El propósito es el mismo pero cambian los equipos y procedimientos de ensayo.

El ensayo de horno de película fina rodante se utiliza para medir el efecto del calor y del aire en una película en movimiento de materiales asfálticos semisólidos. Los resultados de este tratamiento se determinan mediante mediciones de las propiedades del asfalto antes y después del ensayo. Este horno de precisión está diseñado para mantener la temperatura estándar especificada de 163°C y la capacidad de reproducción del aumento térmico del sistema.

La Foto 1.38, muestra el Horno de Película Fina Rodante usado para el ensayo de película delgada rodante y también el frasco de diseño especial para contener la muestra. Se vuelca en el frasco una determinada cantidad de cemento asfáltico y se lo coloca en un soporte que rota con cierta velocidad alrededor de un eje horizontal, con el horno mantenido a una temperatura constante de 163°C (325°F). Al rotar el frasco, el cemento asfáltico es expuesto constantemente en películas nuevas. En cada rotación, el orificio del frasco de la muestra pasa por un chorro de aire caliente que barre los vapores acumulados en el recipiente.

En este horno, se puede acomodar un mayor número de muestras que en el horno del ensayo de película delgada. El tiempo requerido para alcanzar determinadas condiciones de endurecimiento en la muestra es también menor para este ensayo.



Horno de Película Fina Rodante

AS 10 2817 ASHTO 7 2011A.M6

Foto 1.38 Horno de película fina rodante

f. Ensayo de ductilidad

Algunos ingenieros consideran que la ductilidad es una característica importante de los cementos asfálticos. Sin embargo, generalmente se considera más significativa la presencia o ausencia de la misma, que su grado real. Algunos cementos asfálticos que tienen un grado muy alto de ductilidad son también más susceptibles a la temperatura. Es decir, que la variación de la consistencia puede ser mayor debido al cambio de temperatura.

La ductilidad de un cemento asfáltico se mide con un ensayo tipo "extensión" para el que se moldea una probeta de cemento asfáltico en condiciones y medidas normalizadas. Se la lleva a la temperatura de ensayo de la norma, generalmente 25°C (77°F) y se separa una parte de la probeta de la otra a cierta velocidad, normalmente 5 cm por minuto, hasta que se rompa el hilo de asfalto que une ambos extremos de la muestra. La ductilidad del asfalto es la distancia (en centímetros) a la cual se rompe dicho hilo.

El Comprobador de Ductilidad de la Foto 1.39, está diseñado para medir la distancia a la cual se elongará un material bituminoso después de la ruptura cuando se tira de dos

extremos de una muestra estándar a una velocidad especificada uniforme. Está diseñado para realizar ensayos con tres muestras simultáneamente.

El aparato consta de un carro móvil que se desliza entre dos railes de guía. Una caja de engranajes de reducción impulsada por motor asegura una velocidad suave y constante así como un funcionamiento continuo. Todo el conjunto va montado dentro de un baño de agua, proporcionando una visión clara de las muestras de ensayo.

Una unidad de circulador/calentador mediante bomba controlada termostáticamente mantiene la temperatura del agua y se suministra de serie un control completamente variable de velocidad.



Comprobador de Ductilidad
ASTM D 2875 - 03

Foto 1.39 Comprobador de ductilidad

g. Ensayo de solubilidad

El ensayo de solubilidad es una medida de la pureza del cemento asfáltico. La parte del mismo soluble en bisulfuro de carbono representa los constituyentes activos de cementación. Solo la materia inerte, como sales, carbón libre, o contaminantes inorgánicos, no son solubles.

En este ensayo se usa generalmente tricloroetileno, que es menos peligroso que el bisulfuro de carbono y otros solventes. La mayoría de los cementos asfálticos son igualmente solubles en cualquiera de ellos.

El proceso para determinar la solubilidad es muy simple. Se disuelven aproximadamente 2 grs. de asfalto en 100 ml de solvente y se filtra la solución a través de una plancha de asbesto colocada en un crisol de porcelana (Gooch) mostrada en la Foto 1.40.

Finalmente se pesa el material retenido por el filtro y se lo expresa como porcentaje de la muestra original, obteniéndose el porcentaje soluble en bisulfuro de carbono.

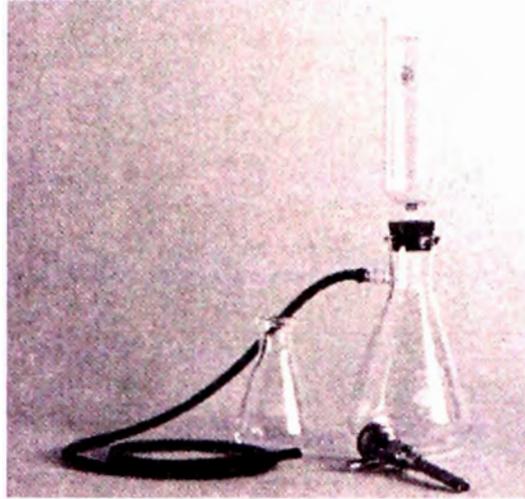


Foto 1.40 Set para ensayo de solubilidad

1.13.2 Ensayos a asfaltos diluidos

a. Viscosidad cinemática

El ensayo de viscosidad cinemática se utiliza como base para clasificar los asfaltos líquidos en los grados RC, MC y SC. El procedimiento es similar al descrito para cementos asfálticos consiste en obtener la muestra en el Matraz del Viscosímetro Saybolt mostrado en la Foto 1.41. La diferencia está en que se hace a 60°C. Como alternativa se utiliza para determinar el estado de fluidez de los asfaltos a diferentes temperaturas.

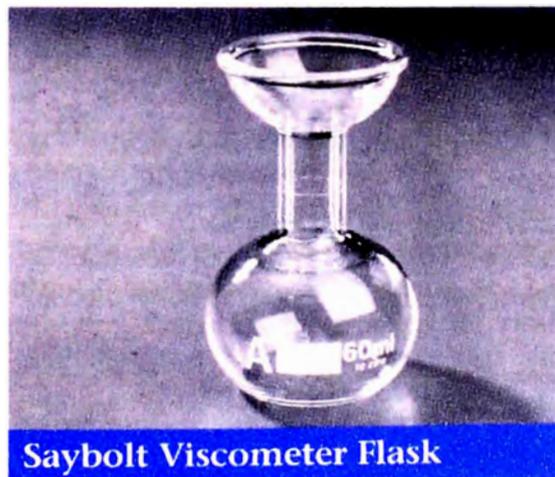
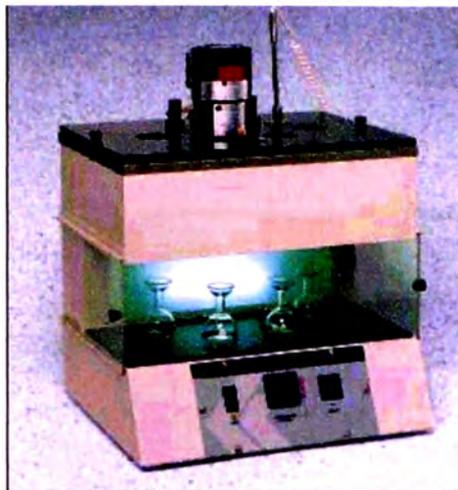


Foto 1.41 Matraz del viscosímetro Saybolt

El Viscosímetro Saybolt Furol mostrado en la Foto 1.42, está diseñado para determinaciones de viscosidad utilizando los tubos y orificios viscosímetros de Saybolt, este baño de temperatura constante cumple los requisitos ASTM y AASHTO para control preciso de la temperatura.



Baño Viscosímetro Saybolt
ASTM D 88 D 744 AASHTO T 77

Figura 1.42 Baño viscosímetro Saybolt

Un microprocesador estabiliza rápidamente la temperatura sin exceder el límite. Un circuito adicional de control de la temperatura interrumpe la alimentación si la temperatura del baño supera un punto de corte programado. La pantalla proporciona los valores de temperatura fijada real en formato °C/°F.

Para el funcionamiento a temperaturas cercanas a las del ambiente, se debe hacer circular agua del grifo o refrigerante a través del serpentín de refrigeración incorporado.

La iluminación posterior en la zona del frasco de recepción proporciona visibilidad. El manejo de los frascos está facilitado por una placa de alineación resistente a los productos químicos y por escudos de corriente deslizantes. El interior del baño aislado está fabricado totalmente con acero inoxidable de alto calibre.

Una tubería de exceso de flujo y una válvula de drenaje incorporada simplifica el llenado del aceite para el baño al nivel necesario.

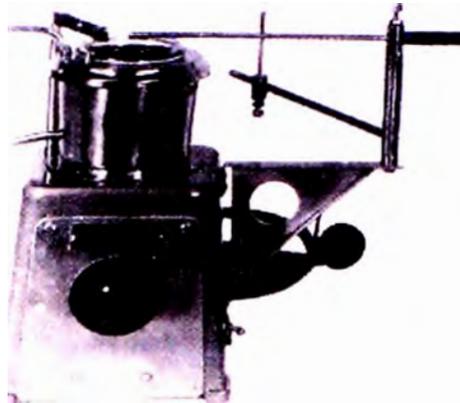
Una placa superior resistente a los productos químicos proporciona aislamiento y se retira fácilmente para permitir la limpieza del interior del baño. El armario de acero tiene pies de nivelación y un acabado de esmalte de poliuretano resistente a los productos químicos.

b. Punto de inflamación

El objetivo y significado del ensayo de punto de inflamación son los mismos que para el caso del cemento asfáltico tratados anteriormente. En los materiales SC se usa el “Vaso Abierto de Cleveland; para los RC y MC, el ensayo es sustancialmente el mismo salvo que se usa calor indirecto por la naturaleza volátil de los diluyentes.

Se realiza con el “Vaso Abierto de Tag” mostrado en la Figura 1.43, en que el vaso es de vidrio y no de metal y se calienta en un baño de agua y no a llama directa.

En general las temperaturas de uso de los asfaltos diluidos esta por encima del punto de inflamación. La temperatura de inflamación de los de curado rápido puede ser tan baja como 27°C. Cuanto más volátil es el solvente del asfalto diluido, más riesgoso es su uso.



ASTM D1310, D3143; AASHTO T79.

Figura 1.43 Vaso abierto de Tag

c. Destilación

Como se indicó previamente los RC y MC y en algunos casos los SC son mezclas de cemento asfáltico y solvente. Las propiedades de estos materiales son de importancia en su aplicación y comportamiento.

La destilación determina las proporciones relativas en que se encuentran presentes, en el asfalto fluidificado, el bitumen y solvente; para esto se procede a tomar 200 ml de material en un matraz, el cual se conecta a un tubo condensador, se comienza a calentar y el destilado se recibe en una probeta, dicho equipo de destilación Figura 1.44 debe estar de acuerdo a norma AASHTO.

Se determina la cantidad de material condensado a diversas temperaturas establecidas y ésta es una indicación de las características de volatilidad del solvente. Después que se alcanzan 360°C se considera que todo el material remanente en el frasco de destilación

es cemento asfáltico. A los RC y MC se le efectúa al residuo proveniente de la destilación los ensayos de penetración, ductilidad, ensayo de la mancha y solubilidad tal como se describen para un cemento asfáltico.

El destilado que evapora a diversas temperaturas es de poco interés en los SC. Los destilados que evaporan bajo la temperatura final de 360°C, son de naturaleza aceitosa de modo que su velocidad de evaporación es muy lenta. Por lo tanto se mide la cantidad total drenado hasta 360°C. En un SC el residuo de la destilación a 360°C se considera representativo de la porción asfáltica. Su consistencia se determina en el ensayo de viscosidad cinemática.

El ensayo de solubilidad del SC se realiza al material y no al residuo.

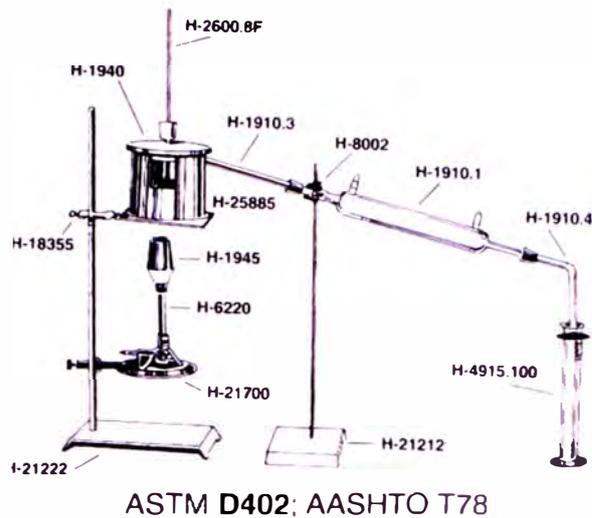


Figura 1.44 *Aparato de destilación para asfaltos rebajados cutbacks*

1.13.3 Ensayos a emulsiones asfálticas

Por estar las emulsiones asfálticas constituidas por fases continua y discontinua, es indispensable conocer su comportamiento durante el tiempo y es por eso que los ensayos tendientes a medir la calidad de dichas emulsiones se agrupan para definir la composición, (destilación y carga de partícula), consistencia (viscosidad) y estabilidad (demulsibilidad, sedimentación y mezcla cemento).

a. Destilación

El ensayo de destilación se usa para determinar las proporciones relativas de cemento asfáltico y agua presentes en la emulsión. Algunos grados de asfalto emulsificado, también contienen aceites; la destilación entrega información acerca de la cantidad de este material en la emulsión. También este ensayo permite analizar el residuo mediante ensayos adicionales como, penetración, solubilidad y ductilidad, que son descritos en los cementos asfálticos. El procedimiento de ensayo es muy similar al descrito para asfaltos rebajados o cutbacks se tiene que utilizar el Aparato de Destilación para Emulsiones Asfálticas mostrado en la Figura 1.45.

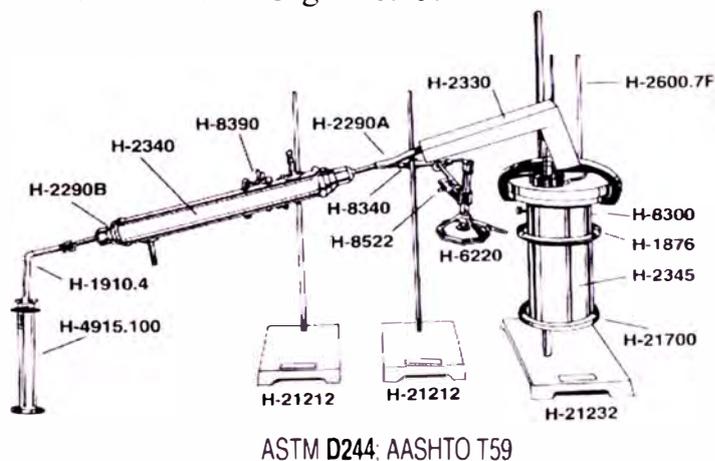


Figura 1.45 *Aparato de destilación para emulsiones asfálticas*

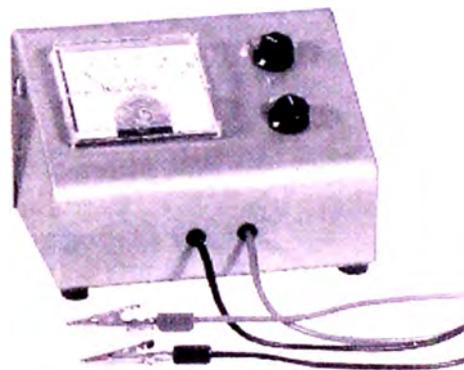
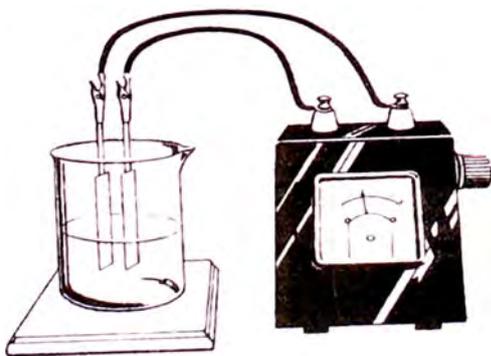
Una muestra de 200 gr de emulsión se destila a 260°C. La diferencia al destilar una emulsión es que se usa un recipiente de hierro y anillos quemadores en vez de un matraz de vidrio y mechero Bunsen. El equipo está diseñado para evitar los problemas que pueden originarse con la formación de espuma al calentar la emulsión. La temperatura final de destilación de 260°C se mantiene durante 15 min. Con el objeto de obtener un residuo homogéneo.

Los grados medio y rápido de las emulsiones catiónicas pueden incluir aceite en el destilado, cuya cantidad máxima está limitada por especificaciones. El material destilado, se recibe en una probeta graduada, incluye tanto el agua como el aceite presentes en la emulsión. Ya que estos dos materiales se separan, las cantidades de cada uno de ellos pueden determinarse directamente en la probeta graduada.

b. Carga de partícula

El ensayo de carga de partícula se hace en el equipo mostrado en la Figura 1.46, y sirve para identificar las emulsiones catiónicas de rotura rápida y media. Se realiza sumergiendo un par de electrodos, el positivo (ánodo) y el negativo (cátodo), conectados a una fuente de corriente eléctrica continua, en una muestra de emulsión.

Luego de 30 minutos, o cuando la intensidad de corriente decrece 2 miliampereos, se observan los electrodos en el Medidor de Carga de Partícula mostrado en la Figura 1.47 y se determina cual tiene una capa apreciable de asfalto depositado. Si está en el cátodo, estamos en presencia de una emulsión asfáltica catiónica.



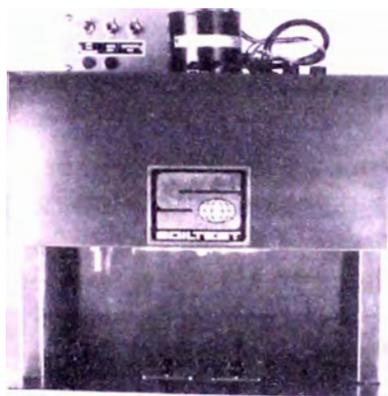
ASTM D244; AASHTO T59.

Figura 1.46 Ensayo de carga de partícula Figura 1.47 Medidor de carga de partícula

c. Viscosidad

Se utiliza el ensayo Saybolt-Furol, utilizando el Viscosímetro Saybolt de la Figura 1.48, para medir la consistencia de las emulsiones asfálticas. Por conveniencia y precisión se usan dos temperaturas de ensayo, las cuales cubren el rango de trabajo. Estas temperaturas son 25°C y 50°C (77°F ó 122°F). Su elección depende de las características viscosas de la emulsión, según su tipo y grado.

Para hacer el ensayo a 25°C se calienta una muestra hasta la temperatura de ensayo, revolviéndola cuidadosamente. Se la vuelca a través de un colador en un tubo normalizado que tiene un orificio tapado. Se saca luego el tapón y se mide el tiempo que tardan en salir 60 ml de asfalto. Este intervalo de tiempo medido en segundos, es la viscosidad de Saybolt Furol. Es obvio que cuanto más viscoso es el material, mayor es el tiempo que necesita un determinado volumen para fluir por el orificio. Por lo tanto un incremento en el número de viscosidad indica un aumento en la viscosidad de la emulsión. Para el ensayo a 50°C, se debe calentar la muestra a $50^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ y se la vierte, colocándola, en el tubo. Se la lleva a la temperatura de ensayo, se saca el tapón y se cronometra el tiempo, como ya se describió anteriormente.



ASTM D-88, D-117 AASHTO T-72

Figura 1.48 Viscosímetro Saybolt

d. Demulsibilidad o desemulsión

El ensayo de demulsibilidad indica la rapidez relativa a la cual los glóbulos coloidales de asfalto en las emulsiones del tipo rápido quebraran cuando se esparce en delgadas capas sobre un suelo o agregado. El cloruro de calcio hace que los diminutos glóbulos de asfalto presentes en las emulsiones asfálticas coagulen.

En este ensayo, una solución de cloruro de calcio y agua se mezcla totalmente con la emulsión (muestra de 100gr), luego se coloca sobre un tamiz 1.4 mm (N° 14) para determinar cuantos glóbulos de asfalto coagulan y se lava. Al ensayar las emulsiones CRS se usa una solución de cloruro de calcio muy débil. Las especificaciones prescriben la concentración de la solución y la cantidad mínima de asfalto que debe ser retenida en el tamiz 1.4mm (N° 14). La cantidad de residuo asfáltico retenido brinda el grado de coalescencia. Se espera que estas emulsiones tengan un alto grado de demulsibilidad ya que se desea que quiebren inmediatamente al entrar en contacto con el agregado.

e. Sedimentación

El ensayo de sedimentación indica la tendencia de las partículas de asfalto a perder la estabilidad, durante el almacenamiento de la emulsión. Detecta la propensión de los glóbulos de asfalto a sedimentar durante el almacenamiento. Este ensayo sirve también

como indicador de la calidad de la emulsión aun cuando esta no sea almacenada. Una falla en el ensayo de sedimentación indica que algo anda mal en el proceso de emulsificación.

Se colocan dos muestras de 500 ml en tubos de vidrio graduados y se los deja descansar tapados, durante 5 días. Luego se toman pequeñas muestras de las partes superior e inferior de cada tubo, se coloca cada muestra en un recipiente y se pesa.

La muestra se calienta hasta que evapore toda el agua y luego se pesa el residuo. Los pesos obtenidos se usan para encontrar la diferencia entre el contenido de cemento asfáltico de las porciones superior e inferior del cilindro. De esta manera se obtiene una medida de la sedimentación.

f. Mezcla con cemento

El ensayo de mezcla de cemento representa, para las emulsiones lentas, lo mismo que el ensayo de demulsibilidad para las emulsiones rápidas.

En este ensayo se mezcla una muestra de 100 ml de emulsión diluida con agua destilada hasta un 55% del residuo con cemento portland de alta resistencia inicial, removiéndolos y luego se lava sobre un tamiz 1.4mm (Nº 14) y se determina la cantidad de material retenido en el mismo.

Las especificaciones generalmente limitan la cantidad de material que puede ser retenida sobre el tamiz.

g. Capacidad de recubrimiento y resistencia al agua

Este ensayo tiene un triple propósito. Su objetivo es determinar la capacidad de una emulsión asfáltica para:

- a) Cubrir totalmente el agregado.
- b) Soportar el mezclado sin que se rompa la película formada.
- c) Resistir la acción de lavado del agua cuando se completó el mezclado.

Este ensayo principalmente, ayuda en la elección de emulsiones asfálticas apropiadas para mezclar con agregados gruesos calcáreos. Se cubre con polvo de carbonato de calcio el agregado elegido y se mezcla con la emulsión asfáltica. Se coloca aproximadamente la mitad de la mezcla sobre un papel absorbente para un examen visual de la superficie del agregado cubierta de emulsión asfáltica.

Se lava con agua el resto de la muestra y se enjuaga hasta que el agua salga clara. Se coloca este material sobre un papel absorbente y se evalúa el recubrimiento. Se cubre otra muestra de agregado con polvo de carbonato de calcio y se mezcla con una cantidad de agua dada.

Finalmente se agrega la emulsión asfáltica y se mezcla cuidadosamente. Se hacen las mismas evaluaciones ya vistas anteriormente.

1.13.4 Ensayos en mezclas asfálticas

La Tabla 1.3 indica los ensayos para mezclas asfálticas según las Normas ASTM.

ENSAYOS EN MEZCLA ASFÁLTICA	ASTM
Lavado asfáltico (no incluye tricloroetileno)	D2172
Lavado asfáltico (incluye tricloroetileno)	D2172
Estabilidad Marshall (incluye estabilidad, flujo, no incluye elaboración de briqueta) (costo por briqueta)	D1559
Estabilidad Marshall (Incluye: elaboración de briqueta, estabilidad, flujo, % de vacíos) (costo por briqueta)	D1559
Densidad de briqueta de mezcla asfáltica	D2726
Densidad máxima teórica (Rice)	D2041
Porcentaje de vacíos (incluye: densidad de espécimen y densidad máxima teórica (Rice)) (costo por briqueta)	---
Diseño de mezcla asfáltica en caliente	D1559
Elaboración de briquetas (juego de 3)	D1559
Diseño mezcla en frío (teórico, por áreas equivalentes)	---
Adherencia en agregado fino (Riedel y Weber)	MTC E220
Adherencia en agregado grueso (Revestimiento y desprendimiento)	D3625 (MTC E521)

Tabla 1.3 Ensayos de laboratorio para mezclas asfálticas

La Máquina de Estabilidad Marshall mostrado en la Foto 1.49, permite medir de manera rápida y exacta la resistencia al flujo plástico de las mezclas bituminosas de acuerdo con las normas de ensayo ASTM D-1559 y AASHTO T-245. En su diseño se ha tomado en cuenta ante todo la comodidad del usuario. Su funcionamiento se basa en pulsadores provistos de luces piloto que indican que la unidad está en funcionamiento y también el momento en que la platina ha llegado a su límite (punto de recorrido máximo).

La unidad se suministra con un anillo de carga de una capacidad de 27 kN (6,000 lb) y puede adaptarse para la grabación automática de datos, conectando el registrador a la salida situada en la parte trasera de la unidad.

La automatización del ensayo de Estabilidad Marshall permite lograr una mayor uniformidad del procedimiento de ensayo. Los errores humanos generalmente se eliminan y el ensayo de cada muestra se realiza automáticamente en base a la configuración elegida.

El Registrador de la Celda de Carga proporciona un registro completo y permanente del procedimiento de ensayo. Los valores de carga y flujo se registran en el gráfico, eliminando la necesidad de que el operador observe y registre manualmente los datos.

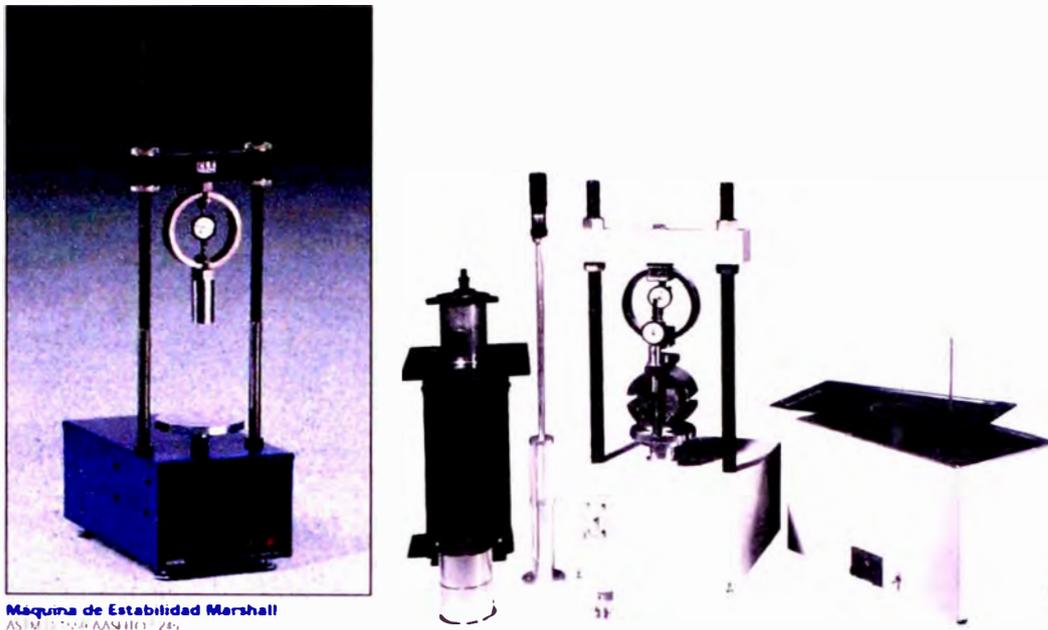


Foto 1.49 Máquina de estabilidad Marshall

El Compactador de Asfalto mostrado en la Foto 1.50, resulta idóneo para la preparación de los especímenes de mezclas bituminosas en los ensayos de Estabilidad Marshall.

El compactador simula automáticamente la compactación manual, asegurando además la repetibilidad de los resultados de compactación. El mecanismo de disparo está diseñado de forma que la distancia de caída del martillo sea la misma en cada impacto. Un peso en la parte superior del ensamblaje del martillo elimina los efectos de rebote sobre la muestra.

El nuevo sistema contador electrónico basado en la tecnología más avanzada de sensores sin contacto asegura la parada automática de la máquina cuando se alcanza el número de impactos prefijados.

La compactación automática permite obtener resultados consistentes y repetibles con un menor cansancio por parte del operador. Este sistema permite preparar un mayor número de especímenes de mezclas bituminosas, incrementando por lo tanto la productividad del laboratorio.

Teniendo en cuenta la creciente necesidad de ensayar las mezclas de diseño con un contenido de agregados de hasta 50.8 mm (2 pulg.) de diámetro, esta nueva unidad puede convertirse fácilmente en un compactador para procedimientos en muestras de 152 mm (6 pulg.) de diámetro con la ayuda de los accesorios opcionales.

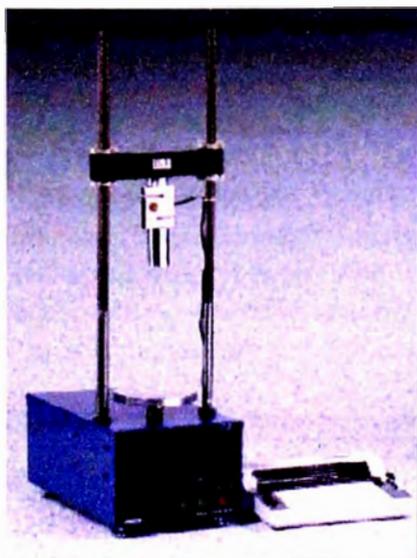


Compactador de Asfalto
ASTM D-1559, AASHTO T-245

Foto 1.50 Compactador de asfalto

La automatización del ensayo Marshall permite lograr una mayor uniformidad durante el procedimiento. Los errores humanos se eliminan generalmente y el ensayo de cada muestra se realiza automáticamente en base a la configuración elegida. El sistema proporciona un registro completo y permanente del ensayo.

El ensayo se puede realizar enteramente por un solo operador sin que éste tenga que observar el proceso y registrar los datos manualmente. El sistema mostrado en la Foto 1.51 consiste en la Máquina de Estabilidad Marshall y el Conjunto de Registro de la Celda de Carga.



Conjunto para Registrar Ensayos de Estabilidad Marshall
ASTM D 1559 AASHTO T 245

Foto 1.51 Conjunto para registrar ensayos de Estabilidad Marshall

Para determinar la estabilidad de los pavimentos bituminosos, se utiliza el Estabilómetro Hveem mostrada en la Foto 1.52, consiste en un dispositivo para ensayos triaxiales.

El dispositivo fue desarrollado originalmente por la División de Autopistas de California, con el objeto de medir los efectos combinados de la carga representada por el tráfico frecuente y repetido a lo largo de un período de tiempo prolongado sobre las mezclas bituminosas.

Los resultados del ensayo se utilizan para determinar la cantidad máxima de aglomerante bituminoso que se puede utilizar sin que ello provoque una falta de estabilidad.

El Estabilómetro está diseñado para ensayar muestras de 101.6 mm (4 pulg.) de diámetro de acuerdo con las Normas de Ensayo ASTM D-1560 y D-2844, las Normas AASHTO T-190 y T-246 y los Métodos de Ensayo California 301 y 366.



Estabilómetro Hveem
ASTM D-1560 D-2844 AASHTO T-190 T-246 A-301 A-366

Foto 1.52 Estabilómetro Hveem

El Compactador de Amasado California mostrado en la Foto 1.53, está diseñado para la compactación controlada de muestras bituminosas en formas cilíndricas o rectangulares a través de un pie especial de apisonado. La presión de contacto de amasado está controlada por un regulador de presión con compensación automática para el cambio en la altura de la muestra durante la compactación.

La repetibilidad de la compactación se consigue por medio de una fuerza dinámica controlada y la energía necesaria se desarrolla a partir de un sistema hidráulico compensado de presión incorporado. La fuerza en el pie de apisonado se controla por medio de un regulador de presión hidráulica de precisión y un dispositivo especial de almohadillado para obtener la curva de presión requerida.

Se proporciona una tolva y una cinta transportadora de alimentación para la alimentación automática de la muestra a los moldes utilizando pulsos de carga electrónica programada y temporizada al pie de apisonado.

La tolva rectangular está montada en un brazo pivotante que gira alejándose de la zona de trabajo para un fácil acceso al molde, a las muestras y a la parte superior del contador. Los parámetros de compactación de presión de contacto, conteo hacia arriba y hacia debajo de apisonado, velocidad de golpes, distancia de retorno hacia arriba de los golpes y tiempo de permanencia en posición de contacto son seleccionables por el usuario.

Una tabla de soporte de molde rotativa es programable por el usuario para incrementos de rotación con temporización electrónica para el pie de apisonado. Todos los parámetros de conmutación, temporización y posicionamiento se almacenan en la memoria y el control del sistema es por medio de PLC con pantalla táctil.

El sistema dispone de secuencias de carga programables que proporcionan un mayor volumen de ensayos y repetibilidad de los resultados de los ensayos. Se requiere una atención mínima del operador después del inicio de las secuencias de carga.



Compactador de Amasado California
ASTM C 1367 AASHTO T 191E A 301 A 304

Foto 1.53 Compactador de amasado California

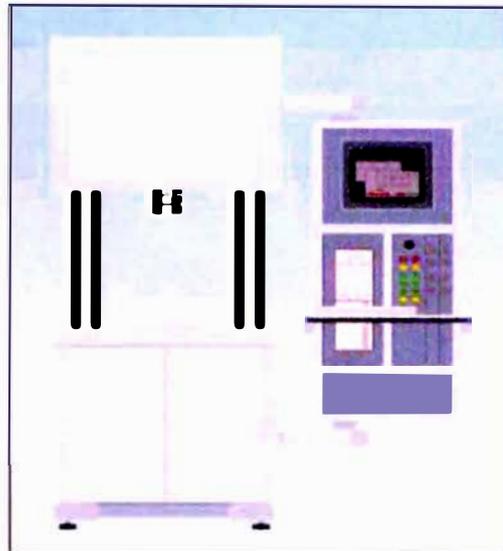
Un equipo de alta tecnología para realizar ensayos paralelos es el Sistema de Carga de Bucle Cerrado ilustrado en la Foto 1.54, completamente automatizado, de 222 kN (50,000 lbf) está específicamente diseñado para realizar el ensayo Hveem de acuerdo con las normas ASTM y AASHTO.

Se suministran procedimientos de ensayo personalizados para realizar automáticamente los métodos de ensayo de California Exudación de Humedad 301 y Estabilómetro 301-304. La máquina de ensayo puede también realizar otro tipo de ensayos que requieren la utilización de un sistema de compresión de bucle cerrado.

El sistema se suministra completo con software de adquisición de datos y control. Está específicamente diseñado para laboratorios de elevada producción que requieren un control constante del equipo de ensayo durante el uso.

Esto permite al operador centrar su atención en otras especificaciones de ensayo y no estar preocupado por el control del ritmo de carga de la máquina.

También se proporciona un procedimiento de calibración para que el usuario compruebe y se asegure de que el sistema está calibrado según las normas requeridas.



Sistema de Carga de Prueba Hveem de Bucle Cerrado

Figura 1.54 El sistema de carga de prueba Hveem de bucle cerrado

El Versa-Tester es una máquina universal de ensayos, de funcionamiento hidráulico, especialmente desarrollado para satisfacer las necesidades de ensayo en cuanto a tensión/compresión. Está diseñado para ser utilizado con todo tipo de materiales con gamas de carga de 134 kN (30,000 lbf) y 268 kN (60,000 lbf).

Se encuentra disponible con una amplia variedad de mordazas y fijaciones de carga y se adapta para realizar ensayos de materiales de cualquier tipo, para lo cual las muestras deben estar debidamente seleccionadas, preparadas y habilitadas para realizar los correspondientes ensayos mostrados en la Foto 1.55.

Asimismo la máquina resulta especialmente útil para los ensayos de suelo-cemento, hormigones asfálticos y especímenes asfálticos contenidos en el Estabilómetro Hveem.

El sistema de control del Versa-Tester está diseñado para una amplia gama de necesidades normalmente requeridas en los ensayos de materiales. La carrera hidráulica de la unidad es de 152 mm (6 pulg.) y se realiza por medio de un ariete de doble actuación.

Los controles incluyen una válvula direccional para movimiento hacia arriba o hacia abajo de la cabeza de carga, una válvula de flujo de carga que se puede utilizar para ajustar el movimiento de la cruceta desde 0 a 76 mm (0 a 3 pulg.) por minuto, una válvula de control de esfuerzo que permite que el operador pueda aplicar manualmente un esfuerzo variable o constante.

También permite prefijar la carga máxima mediante la válvula de control de carga para ensayos de carga repetitivo y no destructivo.

El Versa-Tester de la Figura 1.56, incorpora dos diferentes sistemas de visualización de la carga. La serie incorpora nuestro sofisticado sistema de pantalla digital controlada por microprocesador, mientras que las series estándar ofrecen la configuración básica de doble cuadrante indicador.



Figura 1.55 Briquetas de mezcla asfáltica preparadas para ensayos en el laboratorio de pavimentos de la Empresa Tito Castro Inc, en Ponce Puerto Rico.



Figura 1.56 Versa-Tester

1.14 Características y tipos de asfaltos

1.14.1 Cemento asfáltico

Son asfaltos refinados o una combinación de asfalto refinado y aceite fluidificante de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación. Pueden proceder de depósitos naturales, que son enormes lagos de asfalto mezclado con un material mineral, agua y otras impurezas.

Una vez refinados se puede obtener hasta un 97% de bitúmen. Estos asfaltos refinados son muy duros y se les da la consistencia, mezclándolos con aceites o residuos provenientes de la destilación del petróleo de base asfáltica.

Los asfaltos más usados en el Perú son los que provienen de la destilación del petróleo. Desde el punto de vista de la obtención de asfaltos, los petróleos se dividen en petróleos de base asfáltica, de base intermedia y de base parafínica.

Los asfaltos para pavimentos se obtienen de los dos primeros tipos mediante destilación, quedando como residuos de este proceso. La mayor o menor dureza del asfalto depende de las condiciones de destilación, tales como presión, temperatura y tiempo.

Estos asfaltos reciben el nombre de "destilado directo" para diferenciarlos de aquellos obtenidos por oxidación, que toman el nombre de "oxidados", y que son empleados en impermeabilizaciones.

El residuo proveniente del petróleo de base parafínica está constituido por parafina semisólida y coke. El aspecto de este residuo es aceitoso o grasoso y no tiene propiedades cohesivas; al contacto con el aire se oxida lentamente dejando un residuo polvoroso o escamoso que no tiene ningún poder ligante.

Los cementos asfálticos se dividen en grados según su dureza o consistencia, que es medida mediante el ensayo de penetración medido en 1/10 mm, valor que es inverso a la dureza. Las dos cifras indican los límites máximos y mínimos de la penetración. De acuerdo a esto, los cementos asfálticos más comúnmente usados son los que se presentan en la Tabla 1.4.

TIPOS DE CEMENTOS ASFÁLTICOS	USOS
CA PEN 40 - 50	Utilizados en mastic para sellado de juntas de pavimento de hormigón.
CA PEN 60 - 70	Utilizados en concreto asfáltico
CA PEN 85 - 100	Utilizados en concreto asfáltico
CA PEN 120 - 150	Utilizados en concreto asfáltico y en tratamientos superficiales

Tabla 1.4 Tipos de cementos asfálticos y usos

En la Tabla 1.5 se indican las especificaciones que deben cumplir estos tipos de asfaltos con sus correspondientes grados de penetración.

ESPECIFICACIÓN	GRADO DE PENETRACIÓN									
	40 - 50		60 - 70		85 - 100		120 - 150		200 - 300	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación copa abierta de Cleveland °C.	232		232		232		218		177	
Ductilidad a 25°C, 5cm/ min, cm.	100		100		100		100			
Solubilidad en Tricloroetileno, %	99		99		99		99		99	
Ensayo de película delgada, 3.2mm, 163°C, 5hrs.										
Pérdida por calentamiento, %		0.8		0.8		1.0		1.3		1.5
Penetración por residuo, % del original.	58		54		50		46		40	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm.			50		75		100		100	
Ensayo de la mancha con: Solvente Nafta Standard Solvente Nafta - Xilol, % Xilol Solvente Heptano – Xilol, % Xilol	Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados									

Tabla 1.5 Especificaciones para los cementos asfálticos AASHTO M 20

1.9.1.1. Propiedades o características deseables del cemento asfáltico

Para los estudios técnicos y la construcción hay tres propiedades o características del asfalto importantes:

- a) Consistencia (llamada también fluidez, plasticidad o viscosidad).
- b) Pureza.
- c) Seguridad.

a. Consistencia

Para caracterizar a los asfaltos es necesario conocer su consistencia a distintas temperaturas, porque son materiales termoplásticos que se licuan gradualmente al calentarlos. Consistencia es el término usado para describir el grado de fluidez o plasticidad del asfalto a cualquier temperatura dada. Para poder comparar la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro, es necesario fijar una temperatura de referencia. La clasificación de los cementos asfálticos se realiza sobre la base al valor de la consistencia a una temperatura de referencia.

Si se expone al aire cemento asfáltico en películas delgadas y se lo somete a un calentamiento prolongado, como por ejemplo durante el mezclado con el agregado, el asfalto tiende a endurecerse, a aumentar su consistencia. Se permite un aumento limitado de ésta. Por lo tanto, un control no adecuado de la temperatura y del mezclado puede provocar mayor daño al cemento asfáltico, por endurecimiento, que muchos años de servicio en el camino terminado. Comúnmente, para especificar y medir la consistencia de un asfalto para pavimento, se usan ensayos de viscosidad o ensayos de penetración. (Para asfaltos soplados el ensayo de punto de ablandamiento).

Cuando el asfalto es calentado a una temperatura lo suficientemente alta, por encima de su punto de inflamación, este comienza a fluidificarse, a veces como un fluido Newtoniano y sus propiedades mecánicas pueden definirse por su viscosidad. A temperaturas mas bajas, el asfalto es un sólido viscoelástico, sus propiedades mecánicas son mas complejas y se describen por su modulo de viscoelasticidad, conocido como el Módulo de Stiffness.

La viscosidad de un asfalto es usualmente medida en un viscosímetro capilar en una manera similar a la que se miden los aceites lubricantes. Este método mide la viscosidad cinemática que se reporta en centistokes (cst). La viscosidad dinámica o absoluta se mide en centipoises (cp) y puede obtenerse de la cinemática multiplicándola por la densidad a esa temperatura determinada. La Tabla 1.6 muestra la viscosidad en centistokes de los grados standarts de asfaltos según su grado de penetración o también en función de cierta viscosidad se puede conocer la temperatura a la cual corresponde.

GRADO DE PENETRACIÓN	VISCOSIDAD EN CST						
	20,000	5,000	2,000	1,000	200	100	50
180/200	70	85	100	110	140	155	175
80/100	80	95	105	120	150	170	190
60/70	85	100	115	125	155	175	195
50/60	90	105	115	125	160	175	200
40/50	90	110	120	130	165	180	200
30/40	95	110	125	135	170	185	210
20/30	100	120	130	145	175	195	220
10/20	115	130	140	155	190	205	230

Tabla 1.6 Viscosidad según el grado de penetración y su correspondiente temperatura

En muchas aplicaciones, el asfalto es calentado hasta hacerse lo suficientemente fluido para cada aplicación en particular. La Tabla 1.7 indica la viscosidad que debe tener el asfalto para una aplicación determinada. Se asume que la aplicación se llevará a cabo a la máxima viscosidad posible, es decir la mínima temperatura posible. En algunos casos, menores viscosidades pueden utilizarse, dependiendo de los materiales que se utilicen, debido a que pueden ser dañados por la temperatura excesiva.

APLICACIÓN	VISCOSIDAD REQUERIDA (CST)
Spray	20 - 100
Llenado de Juntas	100 - 200
Mezclado con Filler	200
Impregnación	20 - 200
Impermeabilización	200 - 1000
Pintado	600
Recubrimiento	1000
Bombear	1500 - 2000

Tabla 1.7 Viscosidades de aplicación

El Ensayo Fraass ofrece una indicación del riesgo de craqueo del asfalto a bajas temperaturas. Pueden obtenerse variaciones del resultado de este ensayo dependiendo del origen del crudo de petróleo con que se obtuvo el asfalto. Es la medida de las propiedades de quiebre del asfalto a bajas temperaturas.

En este ensayo, una lámina metálica es recubierta con una capa de 0.5 mm de espesor de asfalto y es movida de una cierta manera. La temperatura es gradualmente reducida, y el valor al cual se produce la rotura de la capa de asfalto se denomina Temperatura Fraass. La Tabla 1.8 presenta las temperaturas Fraass para asfaltos con distintos grados de penetración.

GRADO DE PENETRACIÓN	TEMP. FRAASS °C
180/200	-22
80/100	-16
60/70	-13
40/50	-10
10/20	-4
Oxid.85/25	-16
Oxid.85/40	-22
Oxid.115/15	0

Tabla 1.8 Temperaturas Fraass para asfaltos con distintos grados de penetración

Otro parámetro de suma importancia en los cementos asfálticos es determinar la densidad típica en función de la temperatura para cementos asfálticos de acuerdo a su respectivo grado de penetración, la Tabla 1.9 presenta el indicado valor.

GRADO DE PENETRACIÓN	TEMPERATURA °C					
	15	25	50	100	150	200
280/320	1.01	1.00	0.99	0.96	0.94	0.91
180/200	1.02	1.01	1.00	0.97	0.95	0.92
80/100	1.03	1.02	1.01	0.98	0.96	0.93
60/70	1.04	1.03	1.02	0.99	0.96	0.93
20/30	1.05	1.04	1.03	1.00	0.97	0.94
Oxid. 85/25	1.03	1.02	1.01	0.98	0.95	0.93
Oxid. 85/40	1.02	1.01	1.00	0.97	0.94	0.92
Oxid. 115/15	1.03	1.02	1.01	0.98	0.95	0.93

Tabla 1.9 Densidad típica de los asfaltos (gr/cm3)

b. Pureza

El cemento asfáltico se compone, casi enteramente, de betunes, los cuales, por definición, son solubles en bisulfuro de carbono.

Los asfaltos refinados son, generalmente, más de 99.5% ciento solubles en bisulfuro de carbono y por lo tanto casi betunes puros. Las impurezas, si las hay, son inertes.

Normalmente, el cemento asfáltico, cuando deja la refinería, está libre de agua o humedad, pero puede haber humedad en los tanques de transporte. Si hay agua inadvertida, puede causar espumas al asfalto cuando se calienta por encima de los 100°C (212°F).

c. Seguridad

La espuma puede constituir un riesgo para la seguridad, por lo tanto las normas requieren que el asfalto no forme espuma hasta temperaturas de 175°C (347°F).

El cemento asfáltico, si se lo somete a temperaturas suficientemente elevadas, despiden vapores que arden en presencia de una chispa o llama, el indicador es el punto de inflamación la cual representa la temperatura a la cual se han desprendido suficientes volátiles como para provocar un incendio instantáneo.

La temperatura a la que esto ocurre es más elevada que la temperatura normalmente usada en las operaciones de pavimentación. Sin embargo, para tener la certeza de que existe un adecuado margen de seguridad, se debe conocer el punto de inflamación del asfalto.

1.14.2 *Asfaltos diluidos*

El asfalto puede ser mezclado con una amplia variedad de fracciones de destilación del petróleo para diferentes aplicaciones. Fracciones volátiles livianas se utilizan para los asfaltos diluidos donde un secado rápido es requerido. Fracciones como kerosene o diesel se utilizan donde se permite un tiempo de secado más prolongado. Fracciones pesadas son utilizadas donde un permanente ablandamiento es requerido. (Estas mezclas son virtualmente iguales a asfaltos muy blandos)

Según la terminología del "Asphalt Institute", Asfalto líquido se define como: "*Material asfáltico cuya consistencia blanda o fluida hace que se salga del campo en que se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300*".

Están compuestos por una base asfáltica (cemento asfáltico) y un diluyente volátil que puede ser nafta, kerosene, diesel o agua con emulsificador.

Dos reglas generales se aplican para solventes o diluyentes con asfaltos:

- Cuando más "pesada" sea la fracción de solvente, mejor será la disolución.
- Cuando más "aromática" sea la fracción de solvente, mejor será la disolución.

El diluyente se agrega con el propósito de dar al asfalto la viscosidad necesaria para poderlo mezclar y trabajar con los agregados a baja temperatura. Una vez elaborada la mezcla, los diluyentes se evaporan, dejando el residuo asfáltico que envuelve y cohesiona las partículas de agregado. De acuerdo al diluyente, más o menos volátil, estos asfaltos se dividen en:

1. **Asfaltos rebajados (cutbaks) de curado rápido**, cuyo diluyente es la nafta, se designan con las letras RC (Rapid Curing) seguidas con un número que indica el grado de viscosidad cinemática que tienen, medida en centistokes.

La Tabla 1.10 indica el porcentaje del residuo asfáltico en volumen según el correspondiente grado de viscosidad cinemática y la Tabla 1.11 indica las especificaciones que deben cumplir estos tipos de asfaltos.

De acuerdo a estas consideraciones, se tienen los siguientes asfaltos rebajados RC:

GRADO	RESIDUO ASFÁLTICO EN VOLUMEN
RC-70	55%
RC-250	65%
RC-800	75%
RC-3000	80%

Tabla 1.10 Asfaltos rebajados de curado rápido RC

ESPECIFICACIÓN	RC - 70		RC - 250		RC - 800		RC - 3000	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Viscosidad cinemática a 60°C centistokes	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Punto de inflamación (Copa abierta Tag.)°C			27		27		27	
Agua, %		0.2		0.2		0.2		0.2
Ensayo de destilación: Porcentaje en volumen del destilado total a 360°C								
A 190°C	10							
A 225°C	50		35		15		25	
A 260°C	70		60		45		70	
A 315°C	85		80		75			
Residuo de destilación a 360°C, % volumen	55		65		75		80	
Ensayos en el residuo de la destilación								
Penetración 100g, 5 seg a 25°C	80	120	80	120	80	120	800	120
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloroetileno, %	99.9		99.9		99.9		99.9	
Ensayo de la mancha con: Nafta Standard Solvente Nafta – Xilol, % Xilol Solvente Heptano - % Xilol	Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados							

Tabla 1.11 Especificaciones para los asfaltos rebajados curado rápido AASHTO M 81

2. **Asfaltos rebajados (cutbacks) de curado medio**, cuyo diluyente es el kerosene, se designan con las letras MC (Medium Curing) seguidas con el número correspondiente a la viscosidad cinemática que tienen.

La Tabla 1.12 indica el porcentaje del residuo asfáltico en volumen según el correspondiente grado de viscosidad cinemática.

La Tabla 1.13 indica las especificaciones que deben cumplir estos tipos de asfaltos. De acuerdo a esto, se tienen los siguientes asfaltos rebajados MC.

GRADO	RESIDUO ASFÁLTICO EN VOLUMEN
MC-30	50%
MC-70	55%
MC-250	67%
MC-800	75%
MC-3000	80%

Tabla 1.12 Asfaltos rebajados de curado medio MC

ESPECIFICACIÓN	MC - 30		MC - 70		MC - 250		MC - 800		MC - 3000	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Viscosidad cinemática a 60 °C centistokes	30	60	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Punto de inflamación (Copa abierta Tag.) °C	38		38		66		66		66	
Agua, %		0.2		0.2		0.2		0.2		0.2
Ensayo de destilación: Porcentaje en volumen del destilado total a 360°C										
A 225°C		25		20		10				
A 260°C	40	70	20	60	15	55	0	35	0	15
A 315°C	75	93	65	90	60	87	45	80	15	75
Residuo de destilación a 360 °C, % volumen	50		55		67		75		80	
Ensayos en el residuo de la destilación										
Penetración 100g, 5 seg a 25°C	120	250	120	250	120	250	120	250	120	250
	100		100		100		100		100	
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	99.0		99.0		99.0		99.0		99.0	
Solubilidad en Tricloroetileno, %										
Ensayo de la mancha con: Nafta Standard Solvente Nafta – Xilol, % Xilol Solvente Heptano - % Xilol	Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados									

Tabla 1.13 Especificaciones para asfaltos rebajados de curado medio MC AASHTO M 82

- Asfaltos líquidos de curado lento**, cuyo diluyente es el diesel, se designan con las letras SC (Slow Curing) seguidas con el número correspondiente a la viscosidad cinemática.

1.14.3 Emulsión asfáltica

El fluidificante de la emulsión asfáltica es el agua, y como es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente heterogéneas, como son el asfalto y el agua, se le incorpora una pequeña cantidad de un agente emulsificador, generalmente de base jabonosa o solución alcalina, el cual mantiene estable el sistema de las fases continuas, que es el agua, y discontinua que esta constituida por pequeños glóbulos de asfalto en suspensión, de un tamaño que fluctúa entre 1 y 10 micrones.

Los agentes emulsificantes forman una película protectora alrededor de los glóbulos de asfalto estableciéndoles una determinada polaridad en la superficie, lo que hace que estos se repelan, manteniéndose estable la emulsión.

Cuando una emulsión se pone en contacto con el agregado se produce un desequilibrio eléctrico que rompe la emulsión llevando a las partículas de asfalto a unirse a la superficie del agregado, y el agua fluye o se evapora separándose de las piedras recubiertas por el asfalto.

Existen agentes emulsificadores que permiten que esta rotura o quiebre sea instantáneo y otros más poderosos que retardan este fenómeno. De acuerdo a esto las emulsiones se dividen en:

1. Emulsión asfáltica de fraguado rápido, la que se designa con las letras RS (Rapid Setting).
2. Emulsión asfáltica de fraguado medio, la que se designa con las letras MS (Medium Setting).
3. Emulsión asfáltica de fraguado lento, la que se designa con las letras SS (Slow Setting).

Como se sabe, existen agregados de polaridad positiva y negativa; por lo tanto, para tener buena adherencia es necesario tener la emulsión eléctricamente afín al árido.

Esta cualidad se la confiere el agente emulsificador que puede darles polaridad negativa o positiva, tomando el nombre de aniónicas las primeras, afines a agregados de carga negativa, como lo son de origen calizos, y catiónicas las segundas, afines a agregados de carga positiva como son los de origen cuarzosos o silíceos.

Las emulsiones catiónicas se designan con las mismas letras anteriormente dichas y anteponiéndoles la letra “C”, como por ejemplo las CRS-1 y CSS-1.

Si el residuo asfáltico de las emulsiones medias y lentas es de penetración 40-90 se le agrega la letra “h” (CSS-1h, MS-2h).

Las especificaciones que deben cumplir las emulsiones están indicadas en la Tabla 1.14.

ESPECIFICACIÓN	FRAGUADO RÁPIDO				FRAGUADO MEDIO				FRAGUADO LENTO				
	CRS - 1		CRS - 2		CMS - 2		CMS - 2H		CSS - 1		CSS - 1H		
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, seg										20	100	20	100
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C, seg	20	100	100	400	50	450	50	450					
Sedimentación, 5 días, %		5		5		5		5		5		5	
Ensayo de estabilidad, 1 día, %		1		1		1		1		1		1	
Demulsibilidad, 35 ml, %.	40		40										
Cubrimiento y resistencia al agua:													
Cubrimiento agregado seco						Bueno		Bueno					
Cubrimiento luego de esparcido						Regular		Regular					
Cubrimiento agregado húmedo						Regular		Regular					
Cubrimiento, luego de esparcido						Regular		Regular					
Ensayo carga de partícula	(+)		(+)		(+)		(+)		(+)		(+)		
Ensayo mezclado con cemento, %										2.0		2.0	
Aceite destilado, por volumen de emulsión, %		3		3		12		12					
Residuo, %	60		65		65		65		57		57		
Penetración, 25°C, 100g, 5 seg.	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90	
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40		40		40		40		40		40		
Solubilidad en Tricloroetileno, %	97		97		97		97		97		97		
Ensayo de la mancha con: Nafta Standard Solvente Nafta-Xilol, % Xilol Solvente Heptano-Xilol, % Xilol.	Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados												

Tabla 1.14 Especificaciones para emulsiones asfálticas catiónicas AASHTO M 208

1.15 Los asfaltos en el Perú

Los Asfaltos producido en PETROPERÚ y RELAPASA son elaborados usando modernas tecnologías, rigurosa selección de petróleos de óptima composición química, ofreciendo al país diversos grados de asfaltos de acuerdo a las condiciones climáticas de cada región. Los asfaltos peruanos se fabrican respondiendo a las múltiples variedades que nuestra compleja geografía requiere, resistentes a altas y bajas temperaturas, a condiciones de humedad extrema o de terreno difícil, éstos son:

- Asfaltos Líquidos Tipo RC y MC.
- Cementos asfálticos: 10-20 PEN, 40-50 PEN, 60-70 PEN, 85-100 PEN y 120-150 PEN.

La Refinería Talara cuenta con infraestructura para la producción y despacho de dos tipos de asfaltos:

- 1) Asfaltos de pavimentación. Utilizados para la preparación de pavimentos asfálticos Entre los asfaltos de pavimentación, produce los Cementos Asfálticos que se utilizan en la preparación de la carpeta asfáltica en caliente y un asfalto del tipo cutback utilizado para el proceso de imprimado y la preparación de carpeta asfáltica en frío. La Refinería Talara produce normalmente los 3 tipos de Cementos Asfálticos que a continuación se indica:

- Cemento Asfáltico 40/50 PEN.
- Cemento Asfáltico 60/70 PEN.
- Cemento Asfáltico 85/100 PEN.

Los asfaltos tipo cutback son mezclas de un cemento asfáltico y un diluyente. Estos pueden ser de 3 tipos:

- Curado rápido (RC) para el que se usa una nafta como diluyente.
- Curado medio (MC) para los que se usa kerosene.
- Curado lento (SC) que utilizan diesel.

Esta clasificación, se hace en función de la velocidad en que el diluyente se evapora de la carpeta asfáltica o del asfalto cuando éste se aplique. La Refinería Talara prepara el cutback denominado Asfalto Líquido RC-250 que es del grupo de "curado rápido", mezclando 80% de base asfáltica del grado 85/100 con 20% de una mezcla balanceada de naftas.

- 2) Asfaltos oxidados o asfaltos industriales. Son productos obtenidos después de haber sometido a una mezcla balanceada de base asfáltica y destilado lubricante a un flujo de aire a altas temperaturas a fin oxidarlo y ajustar sus propiedades físicas y químicas a los requerimientos especiales de los usuarios del sector industrial. Existen de varios grados y tienen los nombres comerciales de Asfalto Sólido Industrial (ASI), Breas Sólidas, y Asfaltos Líquidos Industriales. La producción de estos asfaltos ha sido suspendida desde principios de 1,995 debido a que es necesario efectuar importantes inversiones para controlar la

generación de vapores orgánicos que se producen a causa de la oxidación del asfalto y reducir por tanto su emisión al medio ambiente.

PETROPERÚ y RELAPASA elaboran sus asfaltos en base a especificaciones técnicas que evolucionan dando como resultado una calidad innovada y mejorada. Un estricto control de calidad garantiza excelentes productos que cumplen con los estándares internacionales:

- Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales, Norma ASSHTO M20/M81 y AASHTO MP1 (SUPERPAVE)
- Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, Norma ASTM D946/D2028.
- Instituto del Asfalto USA.
- Instituto Francés del Petróleo.

Asimismo, los Asfaltos PETROPERÚ han sido certificados por el Laboratorio Independiente de reconocido prestigio Internacional: PRI ASPHALT TECHNOLOGIES INC. - Tampa, Florida - USA, el mismo que ha sido acreditado por: AASHTO-USA como laboratorio oficial de evaluación SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement).

Nuestra geografía nacional es quizá el mejor laboratorio para probar las ventajas de los diversos tipos de asfaltos. Esto, sumado a nuestra vasta experiencia y tecnología aplicada, han dado como resultado un producto que empieza a figurar entre los mejores de su género a nivel Internacional. Países como Bolivia, Chile y Ecuador vienen aplicando con éxito los asfaltos peruanos demostrando su calidad y facilidad de adaptación a cualquier terreno y clima. En razón de su composición química, los asfaltos peruanos poseen las siguientes bondades que le otorgan performance de larga vida y servicio:

- Excelente adherencia y cohesidad.
- Óptima ductibilidad, plasticidad y elasticidad que le otorgan gran manejabilidad, eliminando así la fragilización.
- Adecuada dureza y viscosidad, lo cual permite su uso específico para cada condición de clima.
- Presentan bajo índice de susceptibilidad térmica, permitiendo un comportamiento estable frente a las variaciones de temperatura del ambiente.
- Excelente estabilidad a la oxidación.
- Muy resistente al agua y a la mayoría de ácidos y álcalis.

Una vez aplicados, los asfaltos PETROPERÚ no emanan ningún tipo de sustancia tóxica que contamine el ambiente. Los cementos asfálticos PETROPERÚ se emplean con éxito en la construcción de carreteras, aeropuertos, impermeabilizaciones y revestimientos. Los cementos asfálticos se usan para elaborar los Asfaltos Líquidos y Emulsiones Asfálticas, para aplicación en frío. Los asfaltos líquidos se emplean para tratamientos superficiales, imprimación, revestimientos e impermeabilización. Su aplicación es en frío pudiendo calentarse hasta una máxima temperatura de 70°C, según requerimiento del uso.

1.16 Estado del Arte de las plantas de asfalto en caliente

Las primeras unidades productoras de mezcla asfáltica en caliente consistían en bandejas de hierro, de poco fondo, calentadas sobre fuego de carbón. El operador secaba el agregado en bandeja, vertía el asfalto caliente y mezclaba los ingredientes a mano. La calidad de la mezcla usualmente dependía de la habilidad y experiencia del operador.

Los primeros mezcladores mecánicos se usaron en Paris en 1,854, pero eran imperfectos y requerían cuatro horas para producir una reducida cantidad de asfalto.

La Compañía Cummer abrió la primera central de mezcla caliente en Estados Unidos en 1,870, hacia el fin de siglo, fabricantes de ambos lados del Atlántico producían mezcladores y secadores de una variedad de formas.

Mientras algunos fabricantes buscaban desarrollar máquinas portátiles y otros volvían a unidades montadas en vagones ferroviarios, muchas instalaciones de producción eran costosas y difíciles de mover, limitando las áreas en la cual la mezcla caliente estaba realmente disponible.

La primera instalación de asfalto prácticamente con todos los componentes básicos de hoy en día fue fabricada en 1,901 por Warren Brothers en East Cambridge, Massachusetts (faltaba solamente un alimentador frío y el equipo para controlar la polución). Los primeros tambores mezcladores y tambores secadores mezcladores mostrados en la Foto 1.57 entraron en uso alrededor del año 1,910, fueron mezcladores de hormigón de cemento Pórtland, adaptados para utilizar con mezclas asfálticas calientes. Actualmente todavía son usados para elaborar mezclas asfálticas con limitada capacidad de producción.



Foto 1.57 MIXBATCH PLANT
Pequeña Batch Plant sobre remolque con capacidad de producción de 4-9 tph

En el año 1,910 existían en los E.U.A pequeñas plantas en caliente, de mezclado en tambor que hacia 1,930 fueron reemplazadas por las de mezclador continuo, de mayor producción. En la década de 1,920 se incorporaron sistemas de alimentación en frío y para 1,930 se habían incluido zarandas vibratorias y la inyección a presión del asfalto.

Entre 1,930 y 1,940 se incorporan cintas transportadoras, colectores de polvo y otros aditamentos, en las décadas de los años 1,950 y 1,960 se desarrollan plantas de mayor capacidad, hacia 1,970 se introducen sistemas computarizados para dosificación y controles de elaboración, polvo y ruido. Todo este proceso mantuvo la operación fundamental de: secado-cribado-proporcionado-mezclado.

En 1,960 el procedimiento de secado y mezclado en tambor nuevamente fue implementado y actualmente estas plantas (tambor mezclador) producen mezclas de gran calidad y compiten además en el reciclado de pavimentos. Los silos para acopio de mezcla caliente forman parte de las plantas de tambor mezclador; también suelen encontrarse estos silos en instalaciones discontinuas para independizar las operaciones de carga de los camiones, o silos de gran capacidad, dotados de revestimiento aislante, permiten al acopio de mezcla caliente durante varios días conservando sus propiedades y trabajabilidad.

“El otro cambio principal en mitad de los 60 fue la incorporación de silos compensadores y de acopio de mezcla caliente”, expresó John Spangler, miembro de NAPA. “Previo a esto la mezcla era cargada directamente de planta a los camiones. Entonces alguien tuvo la idea de que podría ponerse mezcla en los silos por cortos períodos de tiempo, de modo que tuvimos el silo compensador. La tecnología creció y entonces pudimos acopiar mezcla durante tres o cuatro días”.

Con relación al medio ambiente se estimuló la construcción de mejores plantas. *“Cuando me inicié, el Estado del Arte era la planta dosificadora o batch que era sucia, usted podía usualmente verla desde unas tres millas”, señala J.Don Brock, PhD..P.E. Presidente de Astec Industries, Tennessee. “Hoy hemos progresado para limpiarlas mediante equipos húmedos y colectores de polvo que las hacen invisibles. Todavía necesitamos fabricar una planta que usted no pueda ver, no pueda oír y no pueda oler”.*

Durante la década los años 1,970, las mezcladoras a tambor para asfalto progresaron desde el estado experimental hasta el de un producto perfeccionado dando contribuciones importantes a la industria de la pavimentación asfáltica.

Actualmente existen básicamente dos tipos de plantas de asfalto para la producción de mezcla en caliente: las tradicionales plantas de mezcla discontinua (plantas gravimétricas o batch plants) y las plantas de mezcla continua (plantas de asfalto con tambor mezclador drum mixer) como se indica en la Figura 1.58.

Las plantas de mezcla en tambor mezclador o drum mixer las cuales son materia de estudio y análisis de la presente Tesis, son las que han experimentado la mayor evolución: Hoy en día existen diferentes tecnologías y la mayoría de los fabricantes las ofrecen con equipo estándar, accesorios y en distintas versiones y variables. Se dividen fundamentalmente en: plantas de flujo paralelo y plantas de contraflujo.

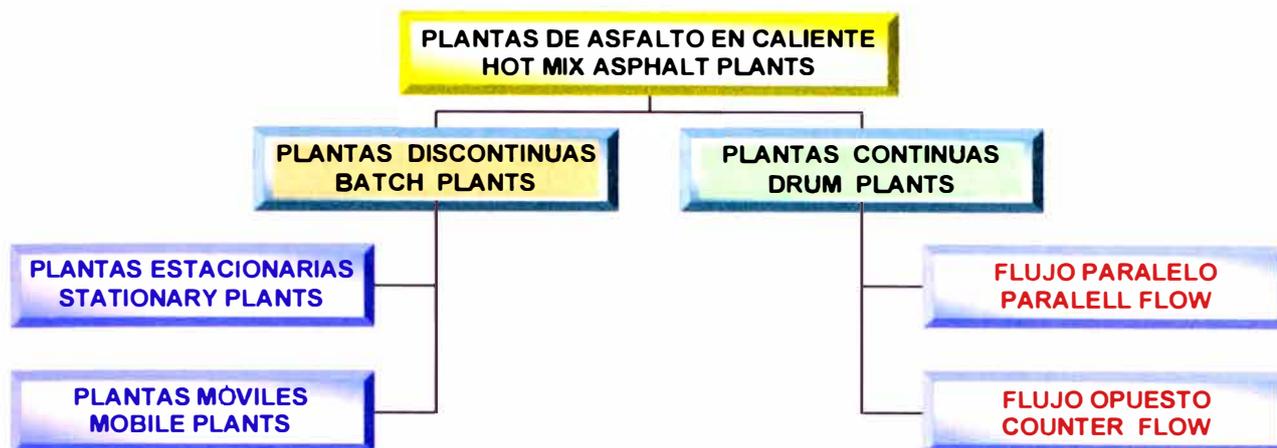


Figura 1.58 Tipos de plantas de asfalto en caliente

Actualmente, en los E.U.A y el Canadá, las mezcladoras a tambor dominan el mercado de las plantas asfálticas y responden por el 90% de todas ventas de plantas de asfalto nuevas. La mezcladora a tambor otorga muchos beneficios sobre las plantas discontinuas o batch plant.

La obra más grande en la historia del mundo fue la construcción de carreteras en los E.U.A después de la Segunda Guerra mundial. Se hicieron más de 6.44 millones de kilómetros (4 millones de millas) de carreteras, de las cuales cerca de 4.83 millones de kilómetros (3 millones de millas) están pavimentadas y el 96% de ellas están pavimentadas con asfalto. Las carreteras con asfalto son mucho más económicas y más fáciles de mantener además, se puede usar inmediatamente después de la compactación

En los E.U.A. se colocan cerca de 550 millones de toneladas de asfalto en caliente anualmente: un promedio de más de 2 toneladas por habitante promedio. La industria del asfalto caliente en los E.U.A. emplea 325,000 personas directamente y otras 650,000 personas indirectamente.

Las principales entidades responsables en normas sobre la industria del asfalto en EUA son:

- American Association of State Highway & Transportation Officials (AASHTO).
- American Society of Civil Engineers (ASCE).
- American Society for Testing & Materials (ASTM).
- The Asphalt Institute (AI).
- National Asphalt Pavement Association (NAPA).
- National Center for Asphalt Technology (NCAT).
- National Highway Institute (NHI).
- PRI Asphalt Technologies, Inc.

1.17 Plantas discontinuas, gravimétricas o batch plants

Las primeras plantas de mezcla en caliente fueron del tipo batch, aparecieron aproximadamente en 1,894; uno de los primeros fabricantes fue la empresa Hetherington and Berner H&B, y aún en el presente existen algunos fabricantes que producen ciertos modelos bajo pedido, principalmente en Europa. Durante los años 1,950 y 1,960, las plantas de asfalto de tipo batch "BACHEO" fueron las comunes e hicieron un excelente trabajo en producir mezcla asfáltica de gran calidad.

Las plantas asfálticas hacia los años 1,950, según los muestra la Foto 1.59 incluían básicamente un secador, una torre y otros elementos para el manejo de los materiales. Hacia la mitad de los años 1,960, con serios problemas sobre el medio ambiente como lo muestra la Foto 1.60, muchas plantas incorporaron limpiadores húmedos y algunos colectores de polvo.



Figura 1.59 Batch plant de los años 1,950



Figura 1.60 Problemas de contaminación ambiental con las batch plant

A fines de los años 1,960 y principio de los años 1,970, por la llegada de los nuevos requerimientos para la calidad ambiental, surgieron invenciones como las tolvas y silos de almacenaje del asfalto. Su evolución prácticamente se detuvo desde que empezó el auge de las plantas continuas; sin embargo la preferencia que muchos usuarios han tenido por este tipo de plantas, por múltiples razones, las ha mantenido vigentes.

En una batch plant, los agregados vírgenes son preclasificados en frío y alimentados al tambor donde son completamente secados y calentados como lo muestra la Figura 1.61, luego son elevados a una torre donde son reclasificados por un sistema de tamices y almacenados en unas tolvas en caliente; posteriormente se pesa una por una la cantidad de cada tipo de agregado necesaria para producir el diseño de mezcla requerido. La dosificación de cada componente se hace en forma independiente y sin ningún contenido de humedad.

A medida que se pesa cada uno de los agregados, son enviados a un mezclador de paletas de doble eje, primero se inicia el mezclado en seco y luego se le agrega el cemento asfáltico que también es pesado en forma independiente.

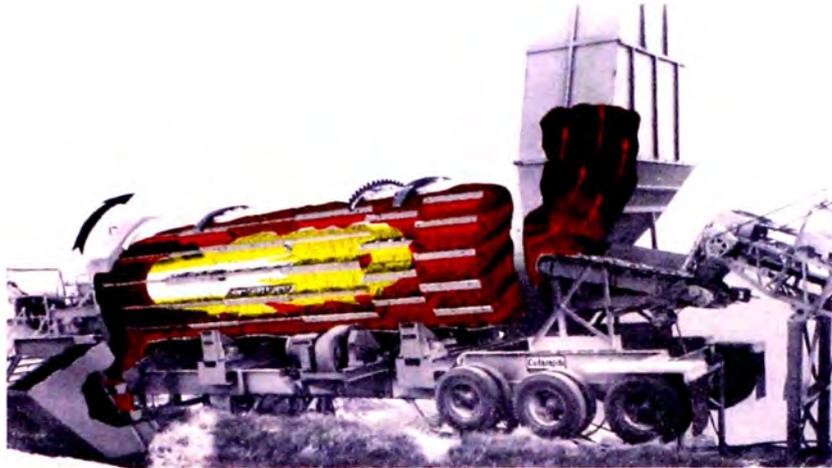


Figura 1.61 Secador de contraflujo de las batch plant

La dosificación de la carga o el batch corresponde a una cantidad específica de mezcla asfáltica el cual está en función del tamaño o capacidad de la planta, se considera que está completamente lista cuando el mezclado es homogéneo y las partículas del agregado están totalmente revestidas de asfalto. Por lo tanto la mezcla se descarga directamente a los camiones o en ocasiones es enviada a un silo de almacenamiento.

En resumen, las plantas de bacheo se convirtieron en plantas mucho más grandes y más difíciles de mover, perdiendo mucha portabilidad a la vez que su producción fue restringida por la adición de equipos como los sistemas colectores mostrados en la Figura 1.62 para controlar la emisión de polvos.

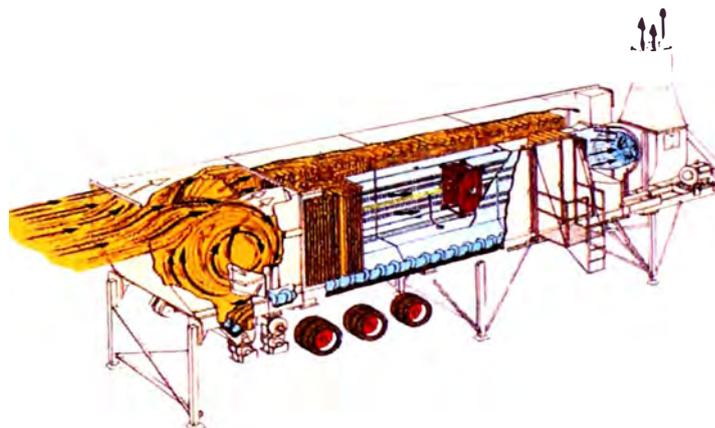


Figura 1.62 Sistema colector de polvos

La Figura 1.63 muestra el layout típico una batch plant, la Figura 1.64 ilustra la elevación principal de una batch plant, la Figura 1.65 corresponde a la vista en planta del layout típico una batch plant y la Figura 1.66 muestra la torre elevadora de una batch plant.

LAYOUT TÍPICO DE UNA BATCH PLANT

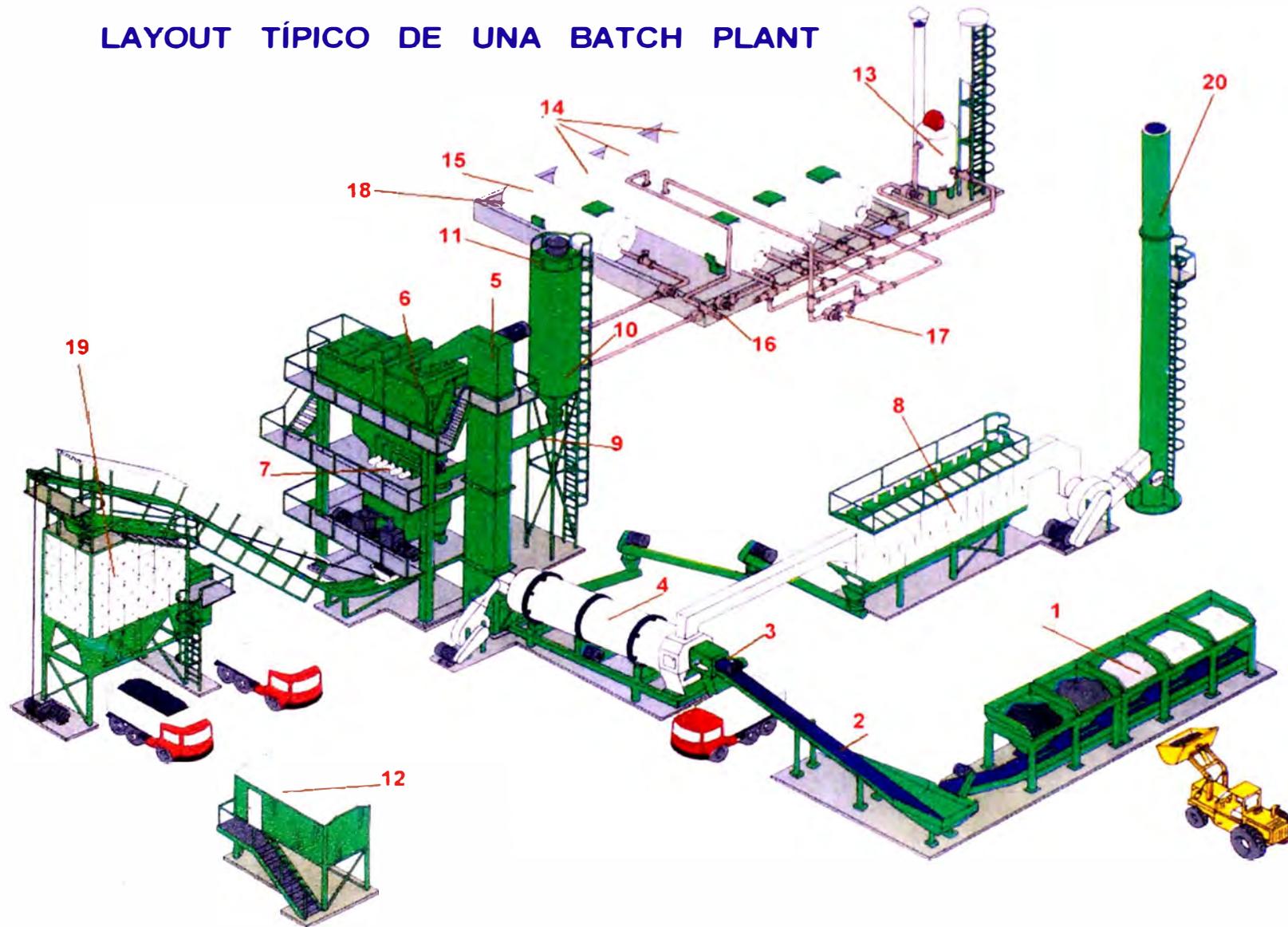


Figura 1.63 Layout típico de una batch plant

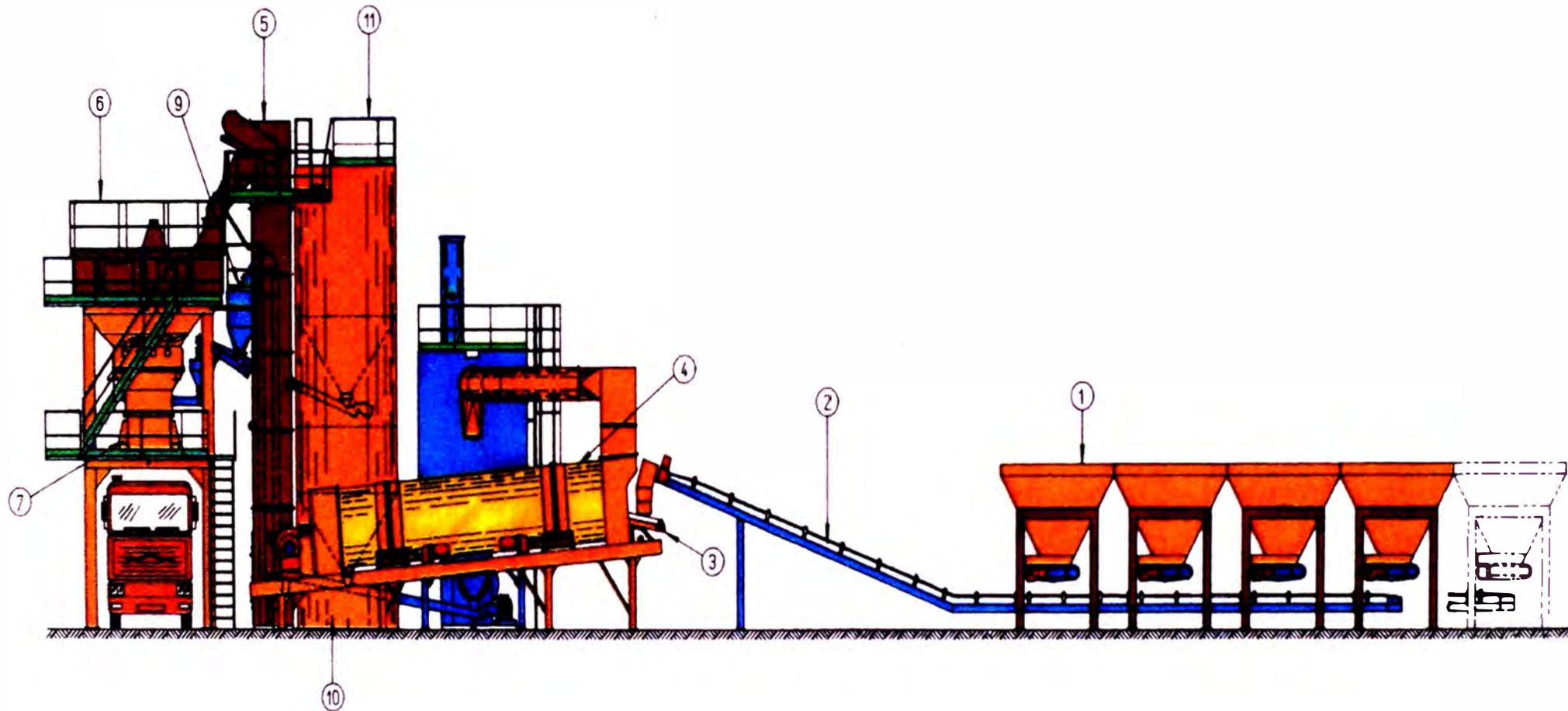


Figura 1.64 Elevación principal del layout típico de una batch plant

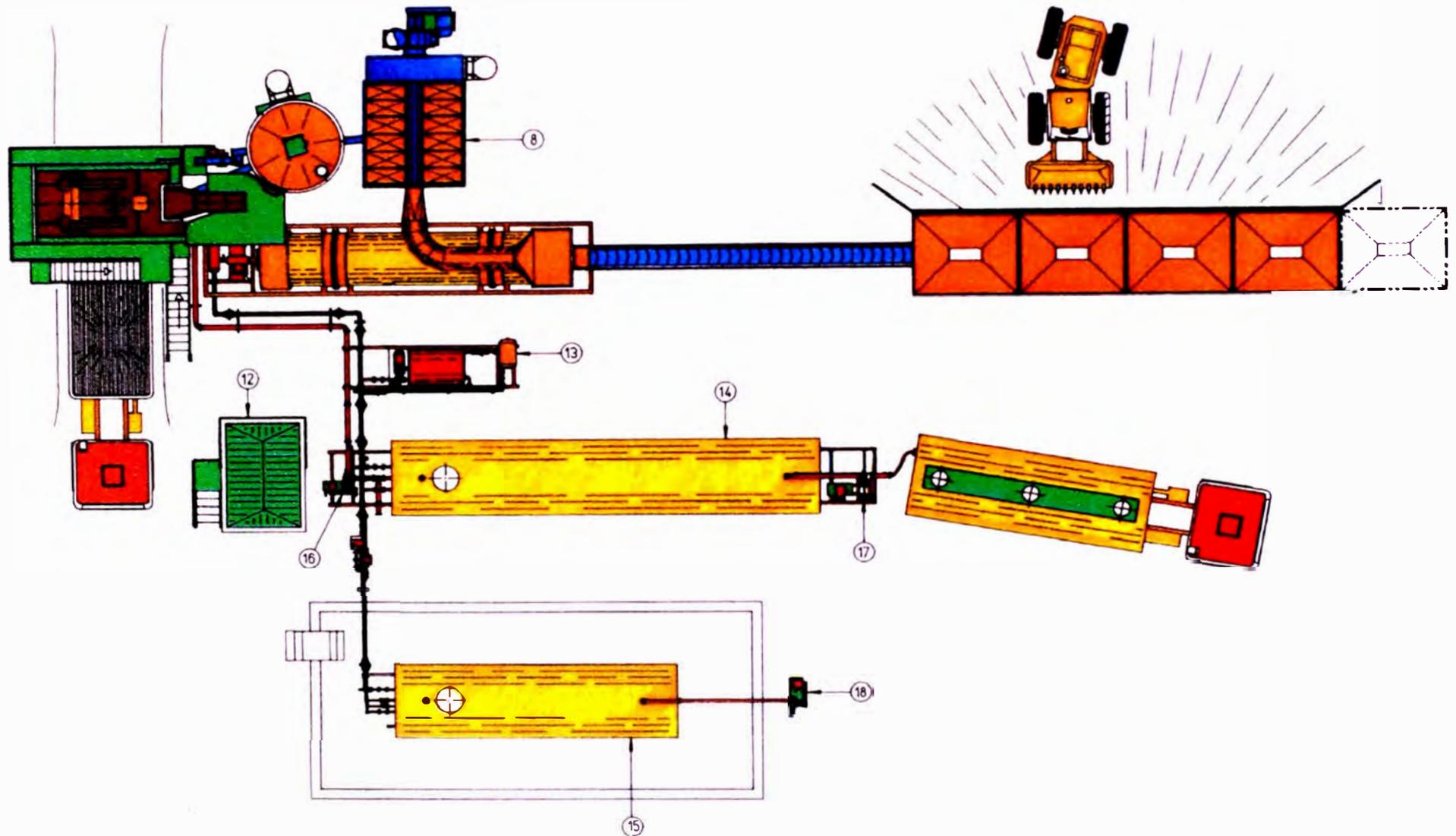


Figura 1.65 Vista en planta del layout típico de una batch plant

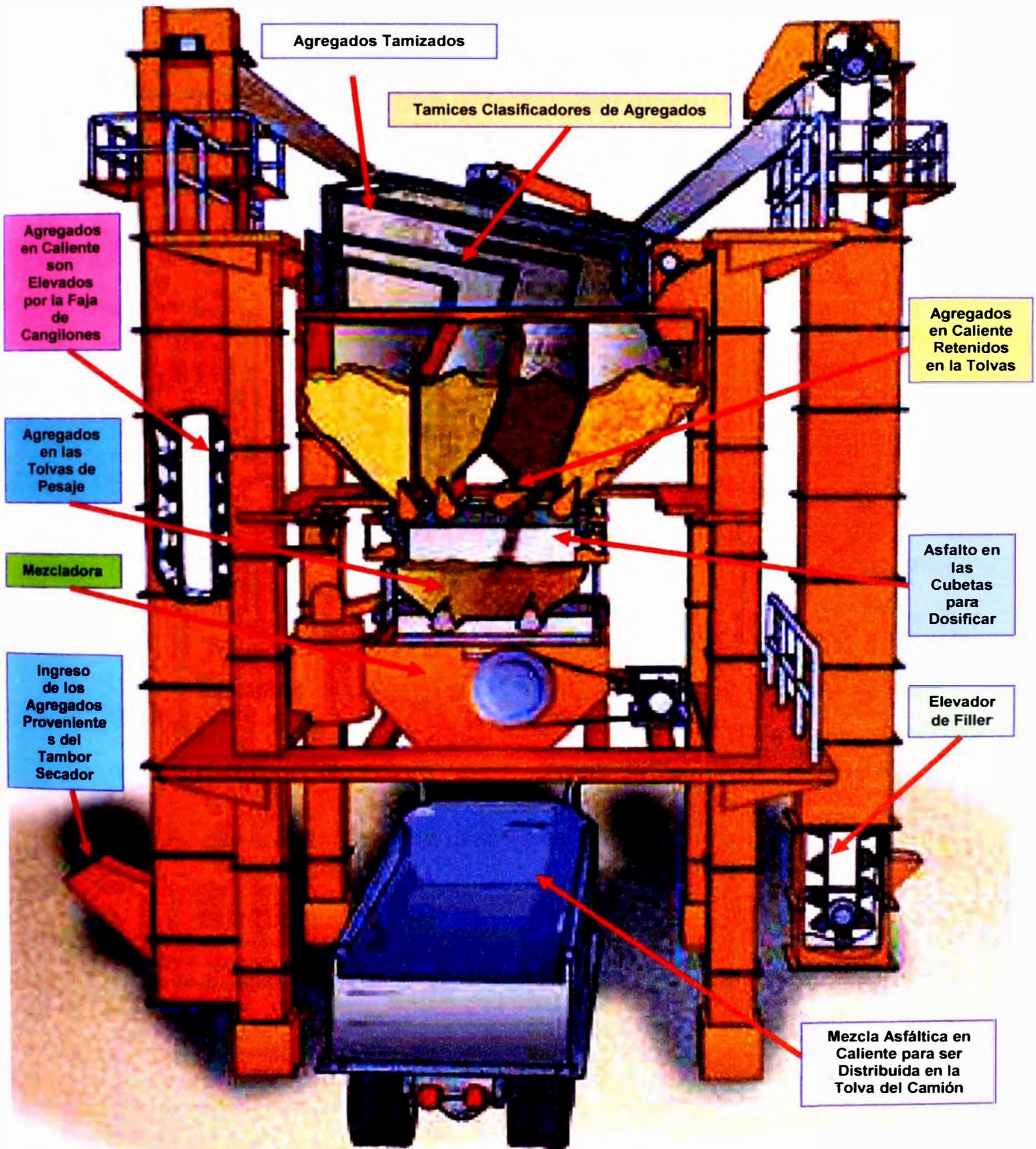


Figura 1.66 *Layout de la torre elevadora de una batch plant*

La Tabla 1.15 presenta los principales partes y componentes de las batch plants.

PRINCIPALES COMPONENTES DE LAS BATCH PLANTS	
1. Tolvas predosificadoras de agregados	Feeder bins
2. Faja transportadora elevadora	Collecting-elevating belt
3. Faja introductora	Introducing belt
4. Secador	Dryer
5. Elevador de agregados en caliente	Aggregates hot elevator
6. Criba	Screen
7. Mezclador	Mixer
8. Filtro de mangas	Baghouse
9. Elevador de polvo recuperado	Recovered dust elevator
10. Silo de polvo recuperado	Recovered dust silo
11. Silo de filler aportado	Addition filler silo
12. Cabina de control	Control cab
13. Calentador de aceite	Hot oil heater
14. Tanque de asfalto	Asphalt tank
15. Tanque de fuel	Fuel-oil tank
16. Bomba de alimentación de asfalto a la planta	Asphalt feeding pump to plant
17. Bomba de descarga de camiones de asfalto	Asphalt unloading pump to trucks
18. Bomba de descarga de camiones de fuel	Fuel-oil unloading pump to trucks
19. Silo de Mezcla Asfáltica en Caliente	Silo Hot Mix
20. Chimenea	Chimney

Tabla 1.15 Componentes principales de las batch plant

La Figura 1.67 muestra dos vistas en tres dimensiones de una batch plant

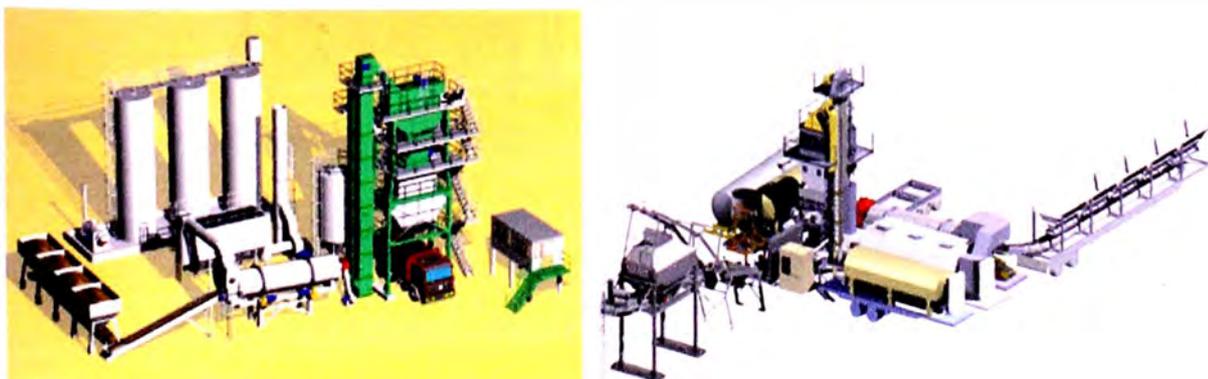


Figura 1.67 Vistas en tres dimensiones de una batch plant

La Foto 1.68 muestra la batch plant móvil modelo UM 80 INTRAME.



*Foto 1.68 Batch plant móvil modelo UM 80
INTRAME*

Mezclador Capacidad Kg	Tambor Diámetro m	Tambor Longitud mm	Producción Nominal t/h	Producción Máxima t/h
1000	1.600	7315	80	100

La Foto 1.69 muestra la batch plant móvil modelo UM 260 INTRAME.



*Foto 1.69 Batch plant móvil modelo UM 260
INTRAME*

Mezclador Capacidad Kg	Tambor Diámetro m	Tambor Longitud mm	Producción Nominal t/h	Producción Máxima t/h
3250	2.438	10080	260	300

La Figura 1.70 muestra la Batch plant estacionaria modelo RM 80 INTRAME.



**Figura 1.70 Batch plant estacionaria modelo RM 80
INTRAME**

Mezclador Capacidad Kg	Tambor Diámetro m	Tambor Longitud mm	Producción Nominal t/h	Producción Máxima t/h
1000	1.600	7315	80	100

La Figura 1.71 muestra la batch plant estacionaria modelo RM 350 INTRAME.



**Figura 1.71 Batch plant estacionaria modelo RM 350
INTRAME**

Mezclador Capacidad Kg	Tambor Diámetro m	Tambor Longitud mm	Producción Nominal t/h	Producción Máxima t/h
4500	2.750	11000	350	400

1.17.1 Descripción de los principales componentes

1. Tambor secador

Para proceder con la descripción de los principales componentes de las batch plants, se ha creído por conveniente considerar la tecnología de una de las mejores fábricas de plantas discontinuas de la serie MIC fabricada por Bernardi Impianti International la cual propone soluciones diferentes de capacidad productiva (desde 80 hasta 400 t/h), estructura (al suelo, elevada, torre) e instalación (sobre losa de hormigón o más rápida sobre vigas de acero). Este tipo de plantas mostradas en la Foto 1.72, son las mas genéricas y fáciles de controlar. Ofrecen además la mayor garantía de calidad del producto acabado. En las plantas modernas el proceso productivo es completamente automático.



Foto 1.72 Plantas discontinuas MIC INTRAME

La unidad dosificadora-mezcladora es la parte principal de una planta discontinua: los agregados secos alcanzan la parte superior de la torre con un elevador de cangilones situado en la descarga del tambor secador. En esta parte de la planta, los agregados se mueven por gravedad. El ciclo, el cuál es continuo durante las operaciones de cribado y de carga de las tolvas en caliente, se vuelve discontinuo en las sub-siguientes fases.

El proceso comienza con la selección de los agregados calientes por medio de la criba vibrante. La cantidad de los agregados calientes cribados puede estar más o menos, a merced del tamaño de la planta y en la elección especializada hecha por el cliente durante la adquisición de la planta. Según el ciclo de producción los agregados son los primeros en entrar dentro del mezclador, luego secuencialmente, el asfalto a determinados intervalos, aditivos eventuales y el filler. El sistema dosificador de asfalto se basa en una función matemática que toma en consideración para cada mezcla para hacer un pesaje real de los agregados.

En cada mezcla la cantidad de asfalto que entra en el mezclador no será el hipotético pesado en la tolva ni el previsto en el diseño sino el porcentaje preciso y necesario, calculado en atención al peso real de los agregados y del filler contenido en las tolvas durante ese ciclo específico. Es sólo el operador de la planta que por demandas productivas especializadas o por otros motivos puede variar y puede reanudar los diferentes tiempos o las cantidades.

La relación entre los tiempos de ciclo de la mezcla y las cantidades de los elementos puestos en el tambor secador determinan la producción de la planta. La mezcla caliente descargada del mezclador se enviará al silo de almacenamiento. Cuando la descarga del mezclador está cerrada, comienza un ciclo nuevo.

Todas las fases arriba mencionadas implican materiales secos que producen polvo. Con objeto de evitar contaminación del medio ambiente todas esas máquinas de la planta que contienen agregados están herméticamente selladas y ajustadas por medio de un aspirador adecuado.

Una bomba transfiere la cantidad de asfalto necesaria para la producción en el tanque de pesada, a través de tuberías calientes y válvulas automáticas con control neumático. Luego otra bomba transfiere el asfalto de la báscula de pesaje al mezclador a través de un conducto difusor.

El modelo MIC puede estar equipada con silos de almacenamiento para el producto acabado; éstas son tolvas con la parte superior en forma de una pirámide invertida. Por encima, las tolvas tienen una abertura que permite la carga del producto mientras en la parte inferior hay una puerta pequeña, que es calentada eléctricamente y controlada por un pistón neumático permitiendo la descarga. Por encargo pueden ser completamente aisladas.

Los silos están ubicados sobre perfiles de acero, con una altura adecuada que permite la carga de camiones y puede situarse debajo del mezclador o lateralmente a la torre. Cuando el silo se sitúa bajo el mezclador, la alimentación está hecha por gravedad, con más demanda de capacidad de almacenamiento. Se sitúa otro silo lateralmente y la alimentación se hace a través de una plataforma motorizada automática que rueda por la parte superior de los silos. Cuando los silos se sitúan lateralmente para la torre, la alimentación se realiza a través de un cubo controlado por un cabestrante.

La planta MIC para operar y producir, requiere solamente un operador, así como también un especialista que cargue los alimentadores. La cabina de control es el lugar donde el operador trabaja y todos los instrumentos que controlan y manejan la planta están dentro de la unidad.

El operador tiene los instrumentos necesarios para regular los parámetros demandados por el proceso de producción, determinando: ciclo de producción, cantidad y la calidad del producto, temperatura final de los agregados etc. Los parámetros de producción una vez definidos y determinados, el operador asumen solamente una función de control.

La Tabla 1.16 presenta las características técnicas del tambor mezclador.

DESCRIPCION	TIPO MICS	60	75	100	125	175	210	225	300	360	400
Volumen efectivo mezclador	lt	1000	1380	1820	2120	2400	2800	3240	3900	4550	5480
Peso mezcla	kg	900	1220	1670	1950	2225	2550	2950	3550	4150	5000
Tiempo de llenado mezclador	seg	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Producción mezclador ciclo de 40'	t/h	80	110	150	175	200	230	265	320	370	450

Tabla 1.16 Características técnicas del tambor mezclador

2. Alimentadores de agregados en frío

La última gama de alimentadores mostrada en la Foto 1.73 y especificadas en la Tabla 1.17 fabricados por Bernardi Impianti International, están diseñados y logrados para asegurar una prolongada vida útil. Con una estructura fuerte y tratados con galvanización en caliente, tienen una gran resistencia contra los agentes atmosféricos y la abrasión de los agregados.

Su modularidad permite satisfacer las demandas más diferentes de colocación de la planta. La producción está controlada por un controlador y reductor de velocidad controlado por computadora.

TIPO	ANS	13/3.5	17/3.5	21/3,5	30/4
Producción	m ³	13	17	21	30
	t	20.8	27.2	33.6	48
Producción para cada tolva	min/max t/h	8/150	8/150	8/250	8/250
Ancho de banda	mm	700	700	700	700

Tabla 1.17 Especificaciones técnicas de alimentadores



Foto 1.73 Alimentadores de agregados

3. Secador

El concepto de diseño del secador es asegurar una mayor duración y eficiencia, está fabricado con planchas de acero al carbono con aislante externo. La estructura interna mostrada en la Foto 1.74, está conforma por un conjunto de aspas internas para una distribución perfecta del material; asimismo el secado es mediante paletas fijadas con pernos en el lado reverso con el fin de recuperar el calor. La Figura 1.75 muestra la última gama de secadores manufacturados por Bernardi Impianti Internacional y la Tabla 1.18 detalla las respectivas especificaciones técnicas.



Foto 1.74 Estructura Interna del Secador

El accionamiento o movimiento del secador se realiza por medio de un engranaje de anillo acoplado a un piñón con engranaje epicíclico de motoreducción. Dispone de dos anillos de acero para la rodadura apoyados en 4 rodillos compuestos de rodamientos y soportes de rodamientos ajustables y fijados al bastidor.

TIPO DE SECADOR		E130	E150	E175	E200	E220	E250	E 275	E 300	E 330
Producción	3% H ₂ O	70	95	130	170	210	270	330	390	475
	5% H ₂ O	55	75	95	135	175	215	260	315	380
	7% H ₂ O	45	60	85	115	135	180	220	260	315
Tamaño de secador	Ø = mm	1300	1500	1750	2000	2200	2500	2750	3000	3300
	L = mm	6500	8000	8000	8000	9000	9000	10000	10500	11000
Potencia de Motor	kW	18.5	22	22	37	45	55	75	90	132
Faja	mm	400	400	500	500	600	600	700	700	800
Secador	kW	3	3	4	4	5.5	7.5	7.5	7.5	11
Potencia Instalada	kW	40	50	54	79	96	119.5	150	188.5	254

Tabla 1.18 Especificaciones técnicas de secadores



Foto 1.75 Secadores de agregados

4. Quemadores

Los quemadores universales mostrados en la Foto 1.76 con sus respectivas especificaciones técnicas presentadas en la Tabla 1.19, pueden funcionar con diesel, fueloil o gas natural, están diseñados y fabricados directamente por Bernardi Impianti International. Cuenta con dispositivos para controlar y regular la longitud de la llama.

En la parte interna, así como el disco agujereado de la llama para el flujo de aire, existe una compuerta especial con un tornillo de control para aumentar o reducir la llama con el fin de obtener una combustión perfecta.

La relación: combustión de aire /combustible, está diseñada electrónicamente mediante un dispositivo dispersor ensamblado en el motor del ventilador y accionado con servocontrol.

TIPO		5TC500	6TC600	7TC800	7TC1000	8TC1400	9TC1700	10TC2000	11TC2400	12TC2800
Capacidad del Quemador	cal/h x 1.000.000	3.7	5.5	7.6	10	12	15.75	19	22.5	27
	kW x 1.000	4.3	6.4	8.8	11.6	14	18.3	22.1	26.2	31.4
	diesel kg/h	380	600	800	1100	1250	1700	2000	2400	2800
	gas natur. Nmc/h	425	640	880	1160	1400	1850	2200	2600	3140
	G.P.L. Nmc/h	170	270	360	450	560	760	900	1100	1300
Ventilador del Quemador	Nmc/h x 1000	560	560	630	710	800	900	900	1000	1120
	motor kW	6.7	10	14	18.5	22.2	29.2	35.2	41.75	50
Bombas de Fuel-oil	kW	15	18.5	22	30	37	45	55	75	90
	kW	0.75	1.1	1.1	1.1	1.1	2.2	2.2	3.0	3.0
Adecuado para Secador	Ø mm	2.2	5.5	5.5	5.5	11	11	11	11	15
		1,300	1,500	1,750	2,000	2,200	2,500	2,750	3,000	3,300

Tabla 1.19 Especificaciones técnicas de quemadores



Foto 1.76 Quemadores

5. Filtros de mangas

Los filtros de mangas mostradas en la Foto 1.77 con sus respectivas especificaciones técnicas presentadas en la Tabla 1.20 producidas por Bernardi Impianti International, han sido particularmente diseñados para recuperar el polvo de las plantas asfálticas, ambos tipo continuo y discontinuo, cumplen con la Normativa Ambiental Europea vigente.

Están fabricadas con dispositivos de seguridad para el control de la temperatura y las mangas están hechas de Nomex, material para resistir hasta 220°C de temperatura. La limpieza es a contracorriente a través de un ventilador aspirante principal; la recuperación y aprovechamiento de todas las partículas pequeñas y grandes separadamente se realiza a través de las unidades de recuperación primaria y secundaria. Además está provisto de una compuerta radial motorizada y la chimenea para la evacuación de los gases.

FILTRI A MANICHE - FILTER BAGHOUSES - FILTRES A MANCHES - SCHLAUCHFILTER											
TIPO - TYPE - TYPE - TYP	DM-IF	210	294	336	378	420	462	588	630	714	850
PER IMPIANTI CON PRODUZ FOR PLANTS WITH A PRODUCT. OF POUR -AGE CAPACITE DE PRODUCTION DE t/h FÜR ANLAGEN MIT EINER PRODUKTION		80	115	130	150	165	185	240	255	290	326
SUPERFICIE FILTRANTE FILTERING SURFACE SURFACE DE FILTRAGE FILTERFLÄCHE	m ²	315	441	504	567	630	693	882	945	1071	1275
PORTATA UTILE FIMB BAGGES WORKING CAPACITY QUANTITE DES FIMBES ABGABE BEIBE	no ² /h	24 000	34500	40000	45000	50500	56000	72000	77000	88000	104000
POTENZA ASPIRATORE EXHAUSTER POWER PUISSANCE ASPIRATEUR ENTLÜFTLEISTUNG	kw	45	75		92		110	132		160	
SGROSSATORE SCRUBBER PRÉSEPARATEUR VORABSCHIEDER		M50					M90				M130
DIMENSIONI (SERIE SGROSSATORE) SIZE (WITHOUT SCRUBBER)	mm A	3903	5383	6123	6863	7603	8343	10563	11303	12783	12783
DIMENSIONI (SANS PRÉSEPARATEUR) ABMESSUNG (OHNE VORABSCHIEDER)	B	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	3000
SGROSSATORE SCRUBBER PRÉSEPARATEUR VORABSCHIEDER	mm B	1350					2250				2500
	D	2500					2500				3000

Tabla 1.20 Especificaciones técnicas de filtro de mangas



Foto 1.77 Filtro de mangas

6. Cribas vibratorias

Las cribas vibratorias unidireccionales, son de tipo oscilación forzada, horizontal e inclinado, debidamente fabricadas y diseñadas por Bernardi Impianti International para la utilización en plantas del asfalto.

El accionamiento es por medio de motovibradores eléctricos mostrados en la Foto 1.78 con sus respectivas especificaciones técnicas presentadas en la Tabla 1.21 tienen la posibilidad de variar la amplitud de oscilación mediante ajustes o calibraciones sencillas.

El diseño de las cribas con bandejas o zarandas de rechazos de agregados de la Figura 1.79, permite optimizar el sistema con mayores intervalos de mantenimiento y reparación.

POTENZA INSTALLATA - INSTALLED POWER - PUISSANCE INSTALLEE - ANSCHLUSSWERT kW				
CB/70	CB/110	CB/140	CB/200 CB/250	CB/300
$2 \times 6 = 12$	$2 \times 9.5 = 19$	$2 \times 9.5 = 19$	$2 \times 11 = 22$	$2 \times 15 = 30$

Tabla 1.21 Potencia instalada de los motores de las cribas



Foto 1.78 Motores eléctricos para accionar a las cribas



Foto 1.79 Cribas vibratorias

7. Silos de mezcla caliente

El almacenamiento de la mezcla asfáltica en caliente se realiza a través de la caja skip de desplazamiento horizontal accionada y controlada por un sistema elevador con regulador electrónico mostrada en la Foto 1.80.

El conjunto puede tener 1, 2 o 3 silos según lo muestra la Foto 1.81 y sus respectivas capacidades según la Tabla 1.22, los cuales están debidamente insulados con fibras minerales y recubiertos con aluminio. El sistema de descarga es directo a los camiones y el pesaje es según demanda mostrada en la Foto 1.82. En el mercado existe la disponibilidad en tamaños diferentes y formas según la demanda del cliente equipado con dispositivos de carga y con tolva de emergencia según la Foto 1.83.

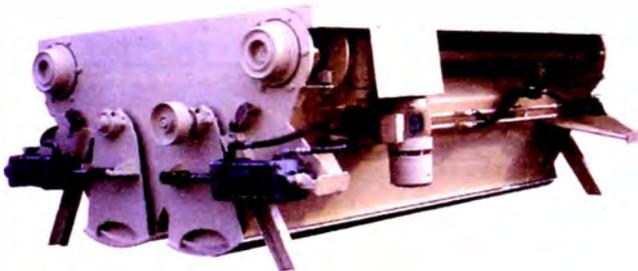


Foto 1.80 Caja skips



Foto 1.81 Conjunto de silos

SILOS PER IMPIANTI FISSI A TORRE SILOS POUR POSTE D'ENROBAGE FIXE A TOUR		STACK-UP PLANT SILOS SILOS FUER FESTE TURMANLAGEN
POSIZIONE CENTRALE SOTTO AL MESCOLATOHE CENTRAL POSITION UNDER THE MIXER POSITION CENTRALE AU DESSOUS MALAXEUR ZENTRALE POSITION UNTER DEM MISCHER	CAPACITÀ CAPACITY CAPACITE m ³ LEISTUNG	POSIZIONE LATERALE SINISTRO - DESTRO SIDE POSITION LEFT - RIGHT POSITION LATERAL GAUCHE - DROITE SEITLICHE POSITION LINKER UND RECHTER SILO
CON DUE BOCCHE DI SCARICO WITH TWO DISCHARGE OPENINGS AVEC DEUX CASQUES DECHARGEMENT MIT ZWEI ENTLADUNGSOEFFNUNGEN	24 35 50	24 35 50

Tabla 1.22 Capacidades de silos

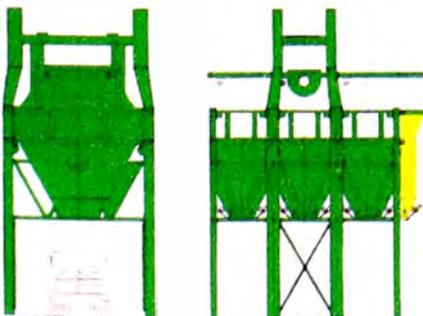


Foto 1.82 Zona de descarga



Foto 1.83 Silos con tolva de emergencia



7. Silos de almacenamiento de filler

El diagrama de flujo para la obtención del filler después del proceso de calentamiento y secado de los agregados se muestra en la Foto 1.84 y la Foto 1.85 ilustra los distintos tipos de silos para capacidades que varían desde las 10 tn hasta las 100 tn.

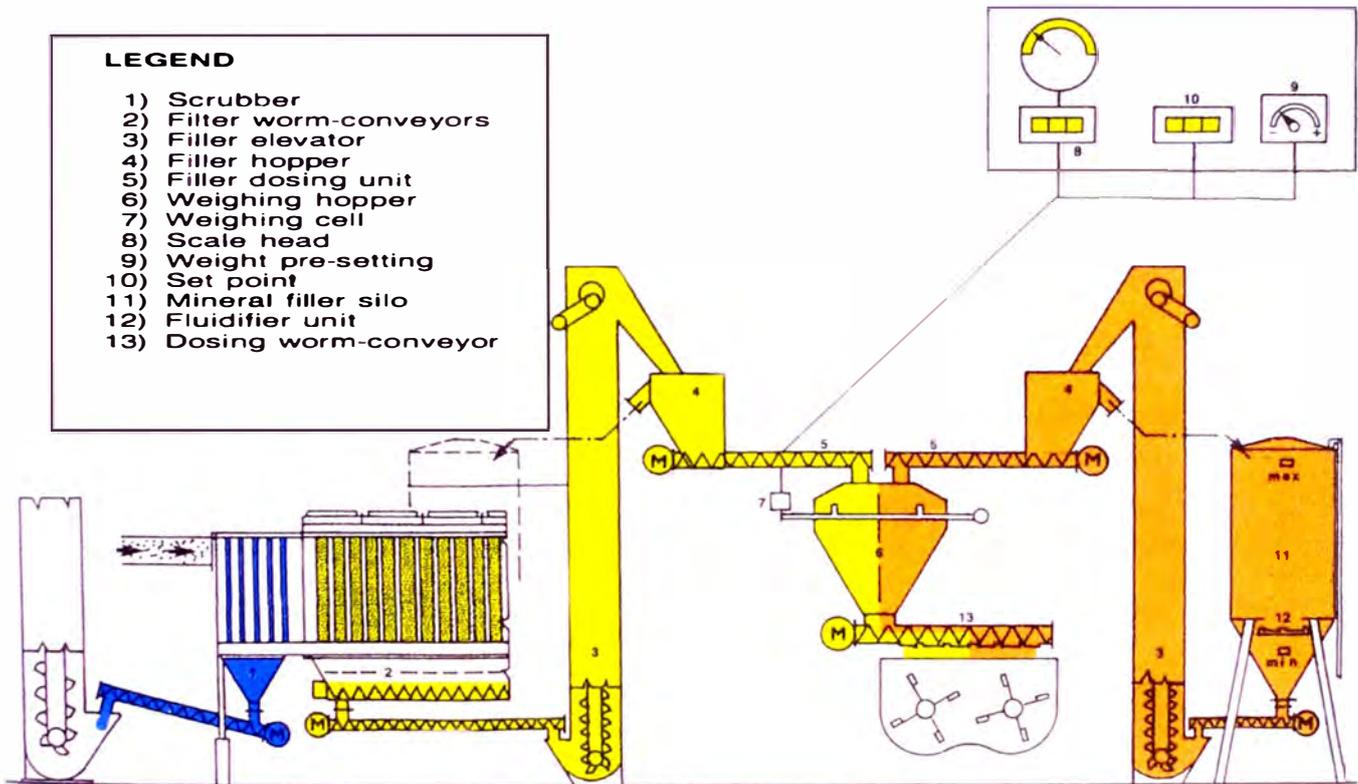


Foto 1.84 Diagrama de flujo del proceso de obtención del filler



Foto 1.85 Silos para el filler con capacidades desde $8m^3$ - $75 m^3$ (10tn -100 tn)

8. Calentadores de aceite diatérmico

Los calentadores de aceite diatérmico son equipos conformados por el calentador mostrado en la Foto 1.86 y por tanques cuya estructura interna está construida por una cámara de combustión horizontal de gran volumen y presión con tubos helicoidales por los cuales circula el calor transfiriendo la temperatura al interior del tanque. Las especificaciones técnicas se indican en la Tabla 1.23.



CALDAIE - HEATERS - CHAUDIERES - HEIZÖLKESSEL		
kcal/h MJ/h kW	LUNGHEZZA x LARGHEZZA x ALTEZZA LENGHT x WIDTH x HEIGHT LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR LANGE x BREITE x HÖHE mm	POTENZA ELETTRICA ELECTRICAL POWER PUISSANCE ELETRIQUE ANSCHLUSSWERT kW
300000 1250 349	2735 x 1920 x 1700	7,5
500000 2100 581	3130 x 2080 x 1700	10

Foto 1.86 Calentador de aceite

Tabla 1.23 Especificaciones del calentador

El modelo CRBC ha sido diseñado y fabricado por Bernardi Impianti International para el calentamiento de aceite diatérmico en la planta de asfalto las características técnicas están indicadas en la Tabla 1.24. Está ensamblado para trabajar con diesel y gas natural como lo muestra la Foto 1.87.

CRBC	TIPO	250	400	600
Capacidad	KCal/h	250,000	400,000	600,000
Cantidad de aceite	lt	100	200	270
Potencia	kW	5.0	6.5	8.5
Dimensiones	A - m	2.40	2.50	2.50
	B - m	2.20	2.20	2.30
	H - M	2.85	2.95	3.10
	H - transporte	2.50	2.50	2.50
Altura de la Chimenea	m	10.0	10.0	10.0

Tabla 1.24 Características de los calentadores CRBC



Foto 1.87 Calentadores de aceite diatérmico

9. Tanques para asfalto y almacenamiento del combustible

Los tanques, diseñado y realizado por Bernardi Impianti Internacional mostrados en la Foto 1.88, están disponibles ambos en tipo horizontal y vertical con diferentes capacidades. Las características técnicas de ambos tipos de tanques se indican en las Tablas 1.25 y 1.26.

Están aislados con fibras minerales y calentados con aceite diatérmico con ajuste automático de temperatura. Dispone de un sistema motorizado de válvulas para controlar la carga, transferencia y descarga del asfalto entre tanques.

CAPACIDAD	M³	20	25	30	40	50	60	70
Dimensiones	A mm	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
	B mm	2560	2560	2560	2560	2560	2560	2560
	C mm	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
	D mm	5500	6700	8200	10400	12400	10500	12400
Cantidad de Aceite para la Espiral	Lt	140	160	210	250	280	380	370
Peso Total	Kg	3000	3750	4500	5600	6600	8500	10000

Tabla 1.25 Características de los tanques horizontales

TANQUE	SSBV	TIPO	50	60	70	80	100
Capacidad		m ³	50	60	70	80	100
Dimensiones	Diám.	m	3,00	3,00	3,00	3,00	3,20
	Altura	m	8,60	10,15	11,75	13,35	13,50
Cantidad de Aceite para la Espiral		lt	100	100	130	130	140

Tabla 1.26 Características de los tanques verticales



Foto 1.88 Calentadores de aceite diatérmico

10. Cabina de control

La cabina de control mostrada en la Foto 1.89, es el centro operativo de toda la planta, allí se encuentran todos los instrumentos eléctricos y electrónicos para controlar cada equipo independientemente del funcionamiento general de la planta.



Foto 1.89 Cabina de control

La cabina de control está dividida en dos secciones: la primera diseñada para los armarios de fuerza reservada sólo para los técnicos expertos, y protegido para evitar la entrada de personas no autorizadas; la segunda sección está destinada para los operarios que manejan la planta. Esta disposición garantiza una protección total de los instrumentos en la consola de control mostrada en la Foto 1.90, más seguridad y facilita el mantenimiento periódico.

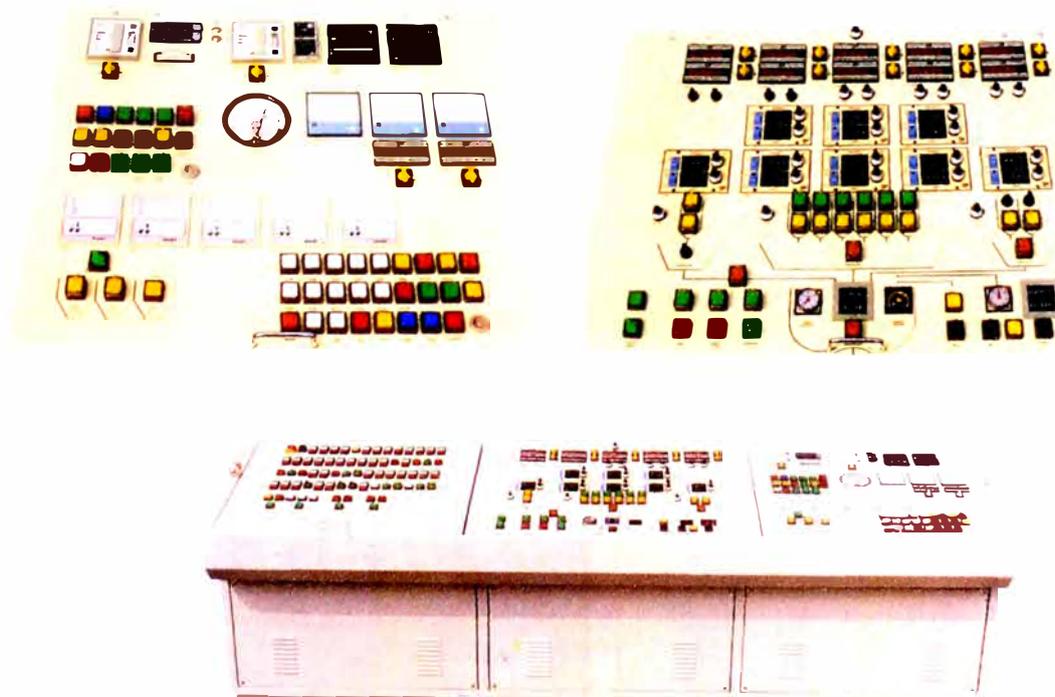


Foto 1.90 Consola de control

El control de todas las funciones es a través de computadoras mostradas en la Foto 1.91 con sistemas operativos y software propios de cada fabricante, el cual es sumamente flexible y fácil de usar gracias al uso de ventanas e iconos.



Foto 1.91 Computadoras y sistema operativo

El sistema elabora todos los datos de producción, desde las cantidades de agregados cementos asfálticos hasta las cantidades de mezcla, incluye también ciclos de producción, dosificaciones, controles de los componentes, etc. Todos estos procesos son monitoreados en las computadoras hasta la entrega de la mezcla a los camiones según muestra la Foto 1.92.

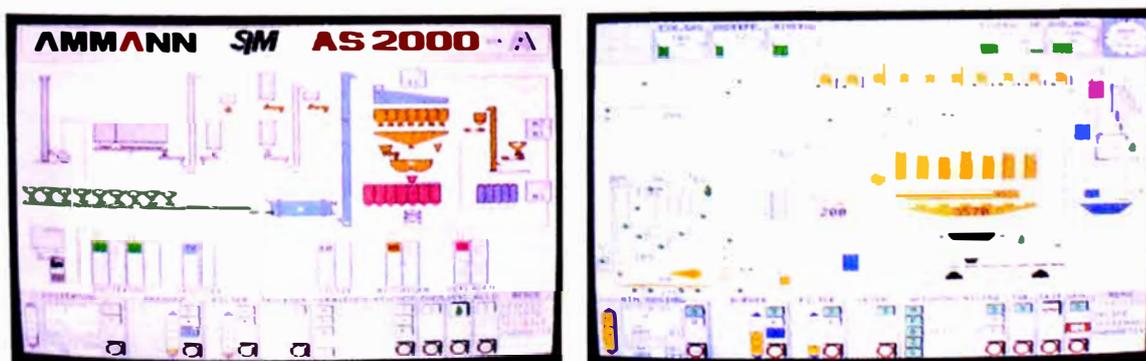
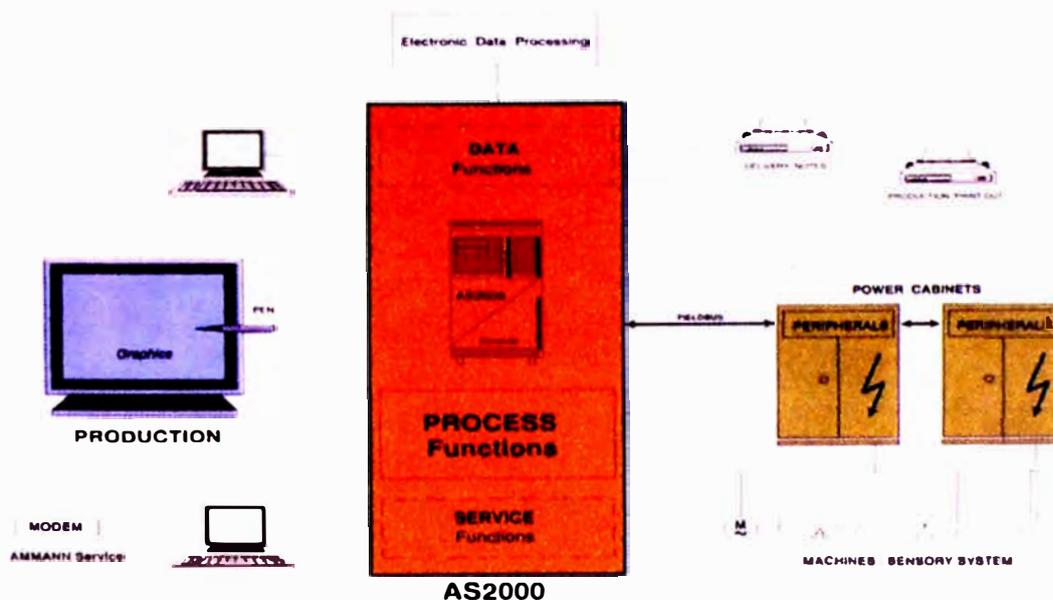


Figura 1.92 Diagrama de procesos y adquisición de datos

11. Torre Multi Ecológica MET

Actualmente las plantas de asfalto discontinuas o batch plants, están respondiendo a las demandas de los productores de mezclas asfálticas calientes, tanto para la capacidad productiva como para la calidad del producto terminado. La tendencia es seguir mejorando los diseños, incorporando nuevas tecnologías con sistemas que logren especialmente la reducción de los consumos de combustibles o energía, conservación de la ecología y ambiente, la resistencia al desgaste y la simplificación del mantenimiento especializado.

La empresa italiana Bernardi Impianti Internacional está introduciendo en el mercado la nueva planta de asfalto discontinua MET (Multi Ecological Tower) mostrada en la Foto 1.93, la innovación de la tecnología está referida a la torre de las plantas estacionarias del asfalto.



Figura 1.93 Multi Ecological Tower MET

Es un método nuevo y diferente de clasificar y dosificar los agregados calientes, para ser usado, con las mismas ventajas, ya sea cuándo la planta esté provista de criba o no. Las novedades introducidas en la MET contienen algunas aplicaciones que, integradas en un experimento complejo, permita solucionar problemas que hasta hoy no había encontrado respuestas satisfactorias. La novedad de la solución constructiva mostrada en la Foto 1.94 es bastante simple, se ha cambiado la forma del depósito de almacenamiento de los agregados o agregados calientes procedentes del secador. La tolva tradicional (más o menos grande) dividida en más sectores, ha sido reemplazada por elementos cilíndricos, cada uno de ellos están dispuestos convenientemente para el almacenamiento a un determinado tamaño granulométrico de los agregados.

Cada depósito está colocado en forma vertical y está equipado independientemente con una célula de carga. Los depósitos de almacenamiento y las estructuras de las tolvas de pesaje están debidamente aisladas mediante planchas o paneles metálicos a prueba de inclemencias climatológicas.

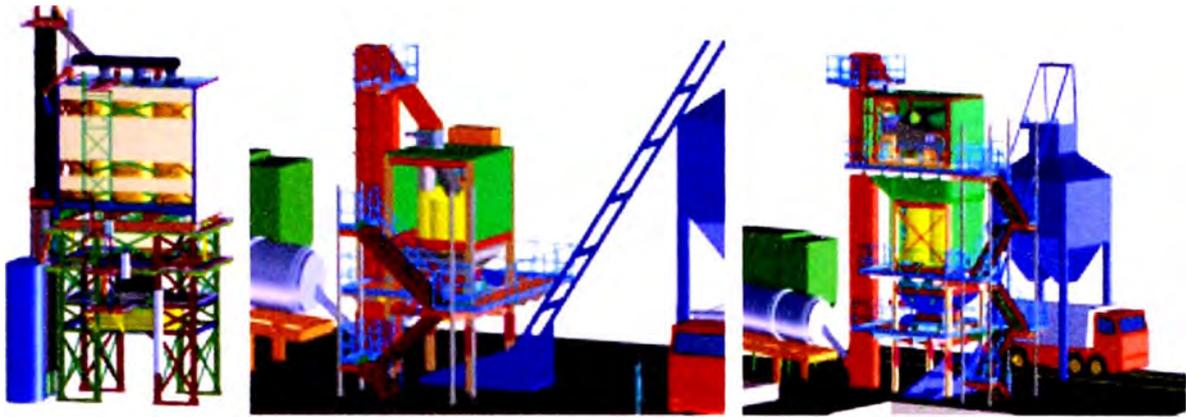


Figura 1.94 Innovación constructiva en la torre multi ecológica MET

Como se puede observar, la innovación no presenta cambios o aspectos especiales pero permite solucionar algunos asuntos de importancia. Una de estas preocupaciones es la salida de los agregados de las tolvas dosificadoras y la posibilidad de su ajuste en la realimentación debido a que anteriormente, las señales de nivel usado, por numerosas razones y causas, no ofrecían la fiabilidad y estabilidad del proceso.

Por esta razón, no era rara la situación en que parte del material ya procesado en el secador fuese desaprovechado. Por el contrario, la célula de carga aplicada de conformidad con la posición de cada depósito de almacenamiento de la MET no puede declarar el peso exacto del material que hay dentro pero eso dará una señal lineal y constante correspondiente al nivel de los contenidos.

De esta manera la velocidad de extracción de los agregados de las tolvas dosificadoras se controlará a través del software de la planta según sus necesidades. Es interesante indicar que el método Multi Ecological Tower MET puede ser usado en plantas pequeñas, y en los silos de mezcla en caliente con distintas capacidades tal como lo muestra la Foto 1.95.



Foto 1.95 Torres multi ecológicas MET con distintas capacidades

La Foto 1.96 presenta la batch planta de fabricación italiana SIM modelo CB. 140 de 140 tn/h y la Foto 1.97 corresponde a la batch plant de ASTEC con capacidad de 200 tn/h.



Foto 1.96 Batch Plant SIM Modelo CB.140



Foto 1.97 Batch plant ASTEC

1.18 Plantas asfalto en caliente continuas de tambor mezclador

Las plantas de asfalto en caliente continua de tambor mezclador fueron introducidas en el mercado a principio de los años 1,970, en la creencia de que mezclando los agregados y el asfalto en el mismo tambor secador, la mayor parte de la polución proveniente de los gases iba a ser eliminada. Las plantas de mezcla a tambor eran de producción continua, más sencillas y mucho más portátiles que la planta de bacheo o batch plant. En 1,973 se aprobó la Ley de Calidad Ambiental en los E.U.A y requirió que todas las plantas de asfalto tenían que tener emisiones menores al 20% de opacidad con granulometría en las partículas menor a 0.4 granos por pie cúbico de aire.

Mientras las emisiones de las plantas de mezcla a tambor, sin equipo de colección de polvo, era mucho menor que las plantas de bacheo, sin embargo, no pudieron cumplir con la nueva ley. Empezaron las invenciones de sistemas con agua para lavar el polvo y sistemas con recámaras con filtros de sacos o mangueras (Baghouses) que tuvieron que añadirse a las plantas de mezcla a tambor, una vez más, reduciendo la portabilidad del sistema.

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

Debido a la escasez y alto precio del petróleo crudo a finales de los años 1,970, el reciclaje volvió a ponerse de moda, sencillamente, por causa de los problemas mencionados anteriormente y porque económicamente era muy atractivo. Concurrente con la escasez de petróleo surgieron problemas relacionados con las variaciones de dureza del asfalto, debido a las diferentes calidades de asfalto importados a los E.U.A.

En el Capítulo III se tratará con mayor detalle la evolución de las plantas de asfalto en caliente con tambor mezclador drum mixer desde su concepción inicial de diseño hasta las últimas tecnologías disponibles en este tipo de plantas. Sin embargo es pertinente que en el presente Capítulo se presenta un alcance de los aspectos relacionados sobre las plantas de asfalto en caliente continuas con tambor mezclador (drum mixer). Antes del desarrollo del drum mixer, salieron al mercado algunas versiones de plantas continuas, pero éstas tenían un sistema de mezcla y dosificación continua de asfalto separado del tambor secador. Estos diseños en general no fueron muy exitosos.

El primer modelo de una planta de mezcla en tambor mostrada en la Foto 1.98 fue presentado al mercado en el año 1,970 por la empresa CMI Corporation; de inmediato casi todos los grandes fabricantes comenzaron a producir este tipo de plantas. La fuerte competencia suscitada es lo que ha permitido la rápida evolución de estas plantas hasta alcanzar los altos niveles tecnológicos que hoy en día conocemos.

En una planta de mezcla en tambor se tienen solamente cinco componentes básicos:

- Sistema de alimentación de agregados en frío.
- Sistema de suministro de cemento asfáltico.
- Tambor mezclador.
- Silo de almacenamiento,
- Equipo de control de emisiones; opcionalmente se utiliza un sistema de suministro de RAP.



Foto 1.98 *Planta de asfalto de tambor convencional de flujo paralelo de CMI*

Los agregados vírgenes son dosificados en frío por medio de bandas de velocidad variable y pesados en forma continua antes de ser alimentados al tambor mezclador. Dentro del tambor ocurren varios procesos a medida que el material va fluyendo por gravedad.

Primero el agregado es secado completamente y luego se eleva su temperatura; posteriormente se agrega y se mezcla el pavimento asfáltico reciclado Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) (opcional), el cual también debe secarse y calentarse para derretir el asfalto residual; luego se inyecta el cemento asfáltico y finalmente se mezclan todos los componentes por medio de paletas de ángulo invertido. Al salir del tambor la mezcla asfáltica ya está completamente lista para ser aplicada. Un transportador eleva la mezcla hacia un acumulador de descarga o a un silo de almacenamiento, desde donde es alimentada a los camiones.

Una computadora convierte el peso húmedo en peso seco, en función del valor de humedad de los agregados, para controlar la cantidad de cemento asfáltico que será inyectada en el tambor por unidad de tiempo, según el diseño de mezcla especificado.

Desde un principio las ventajas de una planta de mezcla en tambor eran evidentes. El solo hecho que se eliminaran una serie de componentes, simplificaba el sistema y reducía drásticamente el costo de inversión inicial, operación y mantenimiento. Además la planta de mezcla se hacía más versátil, por su diseño modular, fácil de transportar y fácil de instalar, y además abría los caminos para aumentar considerablemente la productividad. Actualmente hay plantas de mezcla en tambor con capacidades de producción de hasta 700 t/h y se fabrican modelos portátiles de hasta 500 t/h.

Al inicio las primeras plantas de mezcla en tambor (drum mixer convencional) presentaban varios problemas que representaban desventajas con respecto a las plantas tipo batch. Entre ellos se puede citar:

- La precisión de los elementos de pesaje continuos y los elementos que ejecutaban las variaciones de velocidad (variadores electromecánicos) no era muy eficiente, por lo tanto la calidad de la mezcla no era de calidad.
- Era relativamente complicado cambiar de un diseño de mezcla a otro en comparación con la facilidad con que esto se hacía en una planta de batch.
- Existía la posibilidad de quemar, oxidar o destilar el cemento asfáltico, con la consecuente disminución de sus propiedades, al exponerlo a un calor excesivo, o al flujo de vapores calientes; este riesgo se incrementaba cuando cierto porcentaje de la mezcla estaba compuesto por RAP.
- Por la misma causa se generaban emisiones de gases contaminantes que unido a los gases generados por la combustión incompleta de los quemadores de la época se convertía en un problema ambiental.
- Los sistemas colectores de polvos eran de tipo venturi por vía húmeda con bomba de agua, por tanto ineficientes respecto a los baghouse.

Actualmente, existen muchas plantas de mezcla en tambor que siguen fabricándose con los diseños convencionales de las primeras plantas de tambor mezclador (drum mixer) y aún mantienen muchas de estas desventajas o problemas.

En el año 1,997 el Perú adquirió este tipo de plantas mostradas en la Foto 1.99 con capacidades desde 40 t/h a 100 t/h de la marca CIFALLI por parte del Ministerio de Transportes, de las cuales cinco plantas fueron instaladas en Huachipa-Lima.



Figura 1.99 Inauguración de planta de asfalto Cifalli de flujo paralelo en Huachipa Lima por el Presidente Fujimori y representantes de Reinsa adquirida por el MTC

De acuerdo con la información que dispone el Ministerio de Transportes, el Ejército tiene 20 plantas de asfalto de la marca brasilera CIBER y diversa maquinaria las cuales son utilizadas en la construcción de carreteras en todo el país. Estas plantas de asfalto son de flujo paralelo de cuyas capacidades son de 60 t/h a 70 t/h como lo muestra la Foto 1.100.



Foto 1.10 Planta de asfalto ciber de flujo paralelo ubicada en la Victoria-Cajamarca

Actualmente muchas de esta plantas han sido transferidas al PROVIAS NACIONAL, órgano dependiente del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para que en convenio con Municipalidades o Gobiernos Regionales sean utilizadas en las zonas en las cuales están localizadas como: Trujillo, Cajamarca según lo muestra la Foto 1.101; asimismo las Municipalidades como: Iquitos, Moquegua, Puno, Huancayo también adquirieron este tipo de plantas de asfalto de flujo paralelo.



Foto 1.101 Planta de asfalto Ciber de flujo paralelo ubicada en Cajamarca Ing° Hugo Miranda Tejada e Ing° Juan Carlos Ubillus Calmet realizando la evaluación técnica

TESIS "PROYECTO DE INGENIERIA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGIA DE ULTIMA GENERACION"

Sin embargo todavía se siguen vendiendo en el mercado este tipo de plantas, sencillamente porque son más baratas que las plantas que ofrecen nuevas tecnologías y utilizan componentes más costosos para lograr los mejores resultados y cumplir con las normas más exigentes de calidad y control de emisiones no visibles, aun incorporando altos porcentajes de RAP.

Un avance importante en las plantas de mezcla en tambor fue la incorporación de material reciclado (RAP) a través de un anillo colocado en el centro mostrado en la Foto 1.102, esto se introdujo al mercado en el año 1,976. A partir de este año fue que comenzó a aceptarse en los E.U.A la incorporación de ciertos porcentajes de RAP en las mezclas en caliente, al comprobarse que las especificaciones del producto final (dentro de ciertos límites) eran equivalentes al de una mezcla hecha con 100% de material virgen.

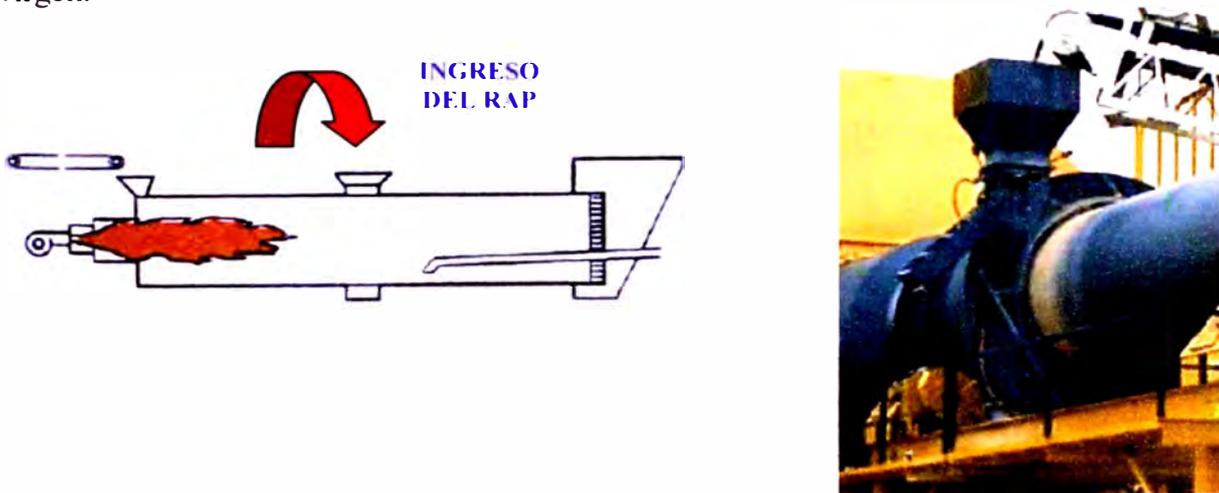


Figura 1.102 *Introducción del material de reciclaje RAP*

En el año 1,981 se introdujeron varios cambios importantes. Con la invención de quemadores más eficientes de llama corta y redondeada mostrado en la Foto 1.103, se logró aumentar la eficiencia en el consumo de combustible y disminuir la contaminación al lograr una combustión más completa.

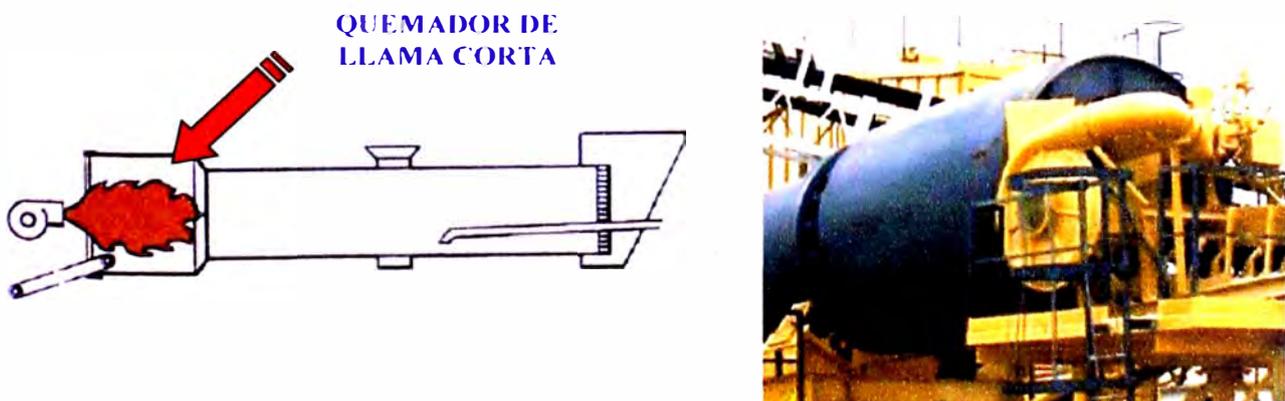


Foto 1.103 *Zona de combustión expandida en tambores mezcladores del año 1,981*

La primera sección del tambor (zona de combustión) se expandió, se eliminó la cámara de precombustión con ladrillos refractarios y en su lugar se desarrolló un diseño de paleta (aisladoras) que permitía que el mismo agregado se mantuviera en esta sección en contacto con las paredes internas del tambor absorbiendo el calor y sirviendo como aislante térmico.

Al expandir esta sección se lograba aumentar el volumen de aire disponible para la combustión. Además se introdujo un alimentador de banda reversible en la parte inferior del quemador en lugar de la alimentación por gravedad a través de la parte superior, lo cual causaba muchos problemas operativos.

En el año 1,982 se expandió la parte posterior del tambor o zona de evacuación de los gases de escape. Esta fue la primera versión de un tambor del tipo Venturi-Mixer. Con esta innovación se lograba disminuir la velocidad de salida de los gases, al igual que su temperatura al lograr una mayor expansión. Por otra parte se reducía la cantidad de finos que eran arrastrados por los gases a los sistemas colectores de polvo, ya que al aumentar el diámetro en esta zona se lograba un efecto de turbulencia que hace que gran cantidad de los finos precipiten y se incorporen a la mezcla.

En 1,988 se introducen una serie de mejoras al diseño del tambor Venturi-Mixer mostrado en la Foto 1.104, se cambia el diseño del anillo de reciclaje; se aumenta el tamaño de la zona de mezclado y la longitud total del tambor. Esta es la versión del tambor Venturi-Mixer que actualmente se encuentra en producción por parte de CMI Corporation. Es la única planta de flujo paralelo con una marcada evolución con respecto a los primeros drum mixer. La razón por la cual los demás fabricantes importantes no continuaron con la evolución de las plantas de flujo paralelo fue que CMI introdujo una demanda donde reclamaba como suya la invención de un anillo en el centro del tambor para la introducción del RAP.

Finalmente los litigios y asuntos judiciales llevaron varios años y finalmente no se pudo comprobar nada porque para la fecha no se registró formalmente una patente, pero durante ese tiempo los demás fabricantes tuvieron que buscar nuevas formas para poder introducir el RAP. Eso fue lo que inicialmente motivó a la introducción de las plantas de contraflujo las cuales serán estudiadas con mayor análisis en los siguientes Capítulos de la presente Tesis.



Figura 1.104 *Tambor mezclador de flujo paralelo Venturi-Mixer de CMI Corporation del año 1,982 con ingreso de RAP*



CAPÍTULO

III

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD MEDIANTE 6 SIGMA Y SCADA

Estudiar y ser estudiante es siempre, y sobre todo hoy, una necesidad inexorable del hombre.

JOSÉ ORTEGA Y GASSET

CAPÍTULO II

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD MEDIANTE 6 SIGMA Y SCADA

2.1 Metodología SEIS SIGMA



2.1.1 Introducción

En la década de los años 1,980 Philip Crosby popularizó el concepto de Cero Defecto como aspecto fundamental para el control de calidad. Este enfoque establece la meta de alcanzar resultados sin errores. Crosby sostiene que cuando se establece un nivel “aceptable” de defectos, ello tiende a provocar que dicho nivel (o puede ser uno más alto) se convierta en un pronóstico o nivel que se debe cumplir. Cuando los empleados saben que está “bien” trabajar dentro de un nivel determinado de errores, llegarán a considerar que ese nivel es la “norma”.

Es evidente que dicha “norma” está por debajo de lo óptimo. Crosby sostiene que a las personas se les establecían estándares de desempeño mucho más holgados en sus trabajos que aquéllos que regían sus vidas personales. “Ellos esperaban hacer las cosas bien, cuando se trataba de sostener a un bebé, de pagar las facturas o de regresar temprano a la casa sin ningún inconveniente. En cambio, en los negocios se les fijaban “niveles aceptables de calidad”, márgenes de variación y desviaciones.

La idea de un “porcentaje de error aceptable” (a veces denominado un “nivel de calidad aceptable”) es un curioso remanente de la era del “control” de calidad. En aquellos tiempos, se podían encontrar maneras de justificar estadísticamente las naturales fallas humanas, sosteniendo que nadie podía ser posiblemente perfecto. De modo que si el 100% es inalcanzable, ¿por qué no conformarse con el 99%, e incluso con el 95%? Entonces, si alcanzáramos el 96.42%, podríamos celebrar el hecho de haber superado los objetivos.

La cuestión es que el 96.42% significa que de 100,000 transacciones efectuadas por un servicio, 3,358 resultarían desfavorables. Como las fallas de uno entre mil paracaidistas.

Los clientes insatisfechos, aquellos que habrían estado fuera del porcentaje de transacciones perfectas, no regresarían jamás.

Ahora bien, Tom Parker, señala que: *“cada día 67,000 norteamericanos pasan por un quirófano. Un porcentaje de éxitos quirúrgicos del 99% significaría que 66,330 personas saldrían de la anestesia sin otra dificultad que tratar de operar el control remoto del aparato de televisión del hospital. Pero ¿qué sucedería con los pocos desafortunados que no entrarán dentro de la categoría del “error aceptable”?* Cada día, 670 de nuestros amigos, vecinos, parientes y seres queridos experimentarían complicaciones, o morirían, como resultado de los fracasos quirúrgicos aceptables” Así pues un rendimiento del 99% sería un alto promedio, pero no muy admirable como porcentaje de éxitos quirúrgicos.

¿Qué pasaría si nos alejáramos de esa norma de calidad y estableciéramos una ambiciosa meta del 99.9%? ¿Sería aceptable? En un informe especial sobre calidad, publicado en 1,991 en la revista Training, Natalie Gabel aplicó esa norma a una serie de actividades. Las cifras que obtuvo fueron sorprendentes.

Si el 99.9% fuera la verdadera norma de rendimiento alcanzada en algunas actividades corrientes en EUA, se obtendrían lo siguientes resultados:

- Las guarderías de hospitales entregarían 12 bebés por día a padres que no corresponden.
- Las instituciones financieras descontarían 22,000 cheques de cuentas bancarias equivocadas cada 60 minutos.
- Los servicios de telecomunicaciones transmitirían 1,314 llamadas erróneas cada 60 minutos.
- Los productores cinematográficos utilizarían 811,000 rollos de películas defectuosos para filmar escenas.

Y en los próximos 12 meses ocurrirían:

- Se fabricarían 268,500 neumáticos defectuosos,
- Se procesarían incorrectamente 103,260 impuestos sobre las utilidades.
- 5'517,200 cajones de gaseosas contendrían bebidas sin efervescencia.
- Se emitirían 20,000 recetas medicinales incorrectas.
- Se gastarían 761,900 dólares en cintas magnetofónicas y discos compactos que no se podrían reproducir.

Por suerte las cosas funcionan mejor de lo previsto, así los informes reales muestran que de los 67,000 pacientes quirúrgicos diarios, antes citados, solamente 25 no lograrían salir del trance en la actualidad. Esto significa un 0.000037, o sea, un 0.037%, lo que equivale a un promedio de éxito del 99.963% (15 veces mejor que la norma del 99.9%).

En el caso de las aerolíneas, si se consideran los accidentes como defectos o defectos por millón de objetivos DPMO, su nivel actual sería de 6.5 Sigma. Pero en el manejo del equipaje, el nivel es apenas del 3.5 Sigma como lo señala la Figura 2.1.

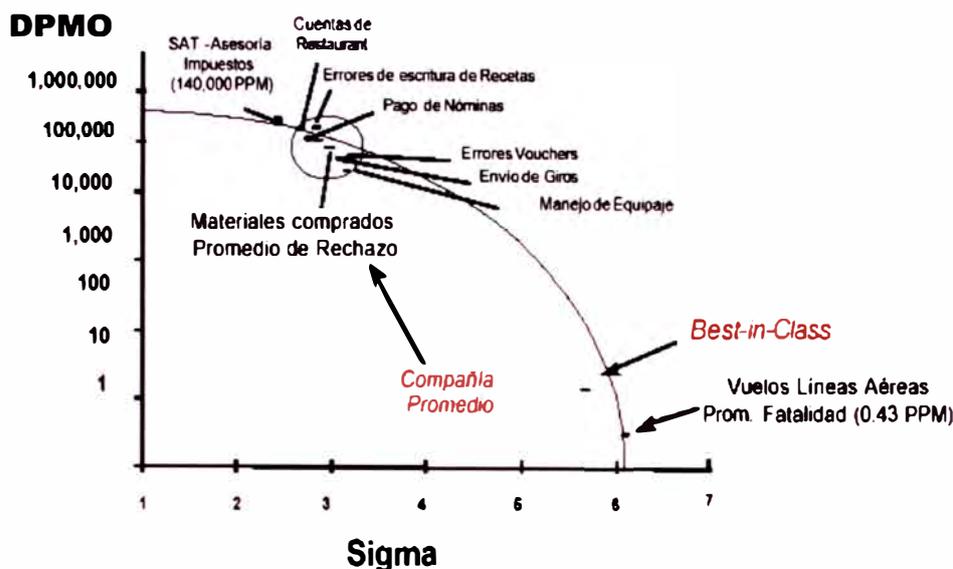


Figura 2.1 Posicionamiento de la industria respecto al Sigma

Cuando Hewlett-Packard examinó 300,000 semiconductores de tres empresas de Estados Unidos y de tres de Japón, descubrió que el porcentaje de fallas de los chips norteamericanos era superior al 0.1%, en tanto que las fallas de los chips japoneses en el mismo período fueron cero.

Al igual que en la industria de los semiconductores, otras como la textil, la siderúrgica, las máquinas herramientas, la electrónica, la automotriz entre otras tantas han visto perder competitividad, mercado y utilidades día a día por haber estado ancladas a paradigmas que ya no eran válidos dentro del nuevo esquema mundial.

Entre las tres presiones externas a las cuales se ha hecho referencia anteriormente, la primera y más evidente es la de la competencia desenfrenada en un mundo más interconectado e interdependiente. La segunda de las presiones está relacionada a la velocidad tecnológica y, en particular, la aceleración de la renovación informática, la difusión de la información en todas las organizaciones y la creciente capacidad de acceso a la misma de un número cada vez más importante de personas. La tercera presión externa que lleva al aspecto económico a revisar totalmente sus reglas de organización, es el choque de las mentalidades que constantemente cambian.

La empresa de finales de los años 1,980 parece haber encontrado su nuevo credo: el de la calidad total. Las empresas que se limitaban a hacer el control a posteriori de su única calidad presentaron la quiebra una tras otra. Las empresas de hoy si quieren sobrevivir, deben trabajar para sus clientes más que para sí misma.

Existen siete motivos, de las cuales cada una por sí sola justifica, la adopción de la calidad total como proyecto de gestión.

- **Primer motivo:** es la llegada de una economía globalizada. La incursión de competidores nuevos en el juego económico mundial hace caducar a las empresas no competitivas, y obliga a todas aquellas que quieren sobrevivir a apoyar de

ahora en adelante su actividad sobre una vigilancia meticulosa, atenta y permanente del mercado para ajustar siempre mejor la calidad de la respuesta que se le pide.

- **Segundo motivo:** en el que se basa el carácter inevitable de la calidad total es la súbita inversión en los países industrializados de la relación de fuerzas entre una demanda menos creciente y una oferta múltiple, desde mediados de los años setenta, por el auge industrial del Japón y de los nuevos países industrializados. He aquí que los consumidores y clientes ante múltiples ofertas se vuelvan más exigentes y reclaman siempre mejor calidad a precios siempre más bajos.
- **Tercer motivo:** es lo que Alvin Tofler define como el final de la masificación. Con las nuevas tecnologías de producción, la diversidad se vuelve en adelante tan poco costosa como la uniformidad. Para ello hará falta que los hombres manejen perfectamente los procesos “just in time” o “justo a tiempo”. Aquí también es la calidad total la que hace la diferencia.
- **Cuarto motivo:** es que hemos cambiado. En occidente se ha ido observando un menor compromiso de los trabajadores para con la empresa. Es menester un cambio de actitud si queremos conservar los puestos de trabajo frente a culturas con mano de obra mucho más comprometida y disciplinada.
- **Quinto motivo:** está dado por la incapacidad de la empresa tayloriana para reducir costos de no-calidad. Fraccionada en grandes funciones autocentradas, generadora de la empresa fantasma, más preocupada en “hacer más” que en “hacer mejor”, en controlar y corregir que en prevenir, esta empresa, sobrecargada de costos inútiles y de recursos ocupados en “fabricar nada”, pierde rápidamente terreno en la competición económica y se condena a muerte a corto plazo. La calidad total constituye su única tabla de salvación.
- **Sexto motivo:** alude también a la organización tayloriana y al desperdicio de inteligencia que ha podido permitirse tolerar en la empresa, mientras la relación entre la oferta y la demanda era la inversa de la de hoy día. De ahora en adelante, no se puede dejar más en un punto muerto a todas estas inteligencias disponibles en todos los niveles y, particularmente, en los niveles de ejecución, en el de los obreros y empleados. La batalla de la calidad es demasiado difícil para que se tenga a toda esta inteligencia apartada del combate.
- **Séptimo motivo:** es desde que existe un proceso de calidad total y que ciertas economías lo han adoptado, todas aquellas que no lo han hecho han visto abrirse a toda velocidad un abismo en su competitividad. Y lo que es cierto para las economías lo es también para la empresa. Para ello es menester tomar en cuenta que el costo de la no-calidad en las economías occidentales está en el orden del 20% de su facturación, en tanto que en la economía japonesa se encuentra en el 12%. No reducir rápidamente esta brecha y ante el crecimiento económico de países como China, Tailandia, Malasia y otros países del sudeste asiático preanuncian inevitables derrotas.

Ante las circunstancias descritas, empresas norteamericanas se han visto en la necesidad imperiosa de realizar un cambio total en su manera de gestionar las empresas, dando lugar ello a la metodología de Seis Sigma.

En los años 1,980 la TQM (Gestión de Calidad Total) fue muy popular, pero sufrió un proceso de desgaste en muchas empresas en situación crítica. Era menester generar un método que motivará un liderazgo por la calidad.

Esto se dio con Seis Sigma en función de tres características principales:

1. Seis Sigma está enfocado en el cliente.
2. Los proyectos Seis Sigma producen grandes retornos sobre la inversión. En un artículo de la Harvard Business Review, Sasser y Reichheld señalan que las compañías pueden ampliar sus ganancias en casi un 100% si retienen sólo un 5% más de sus clientes gracias al logro un alto grado de calidad.
3. Seis Sigma cambia el modo que opera la dirección. Seis Sigma es mucho más que proyectos de mejora. La dirección y los supervisores aprenden nuevos enfoques en la forma de resolver problemas y adoptar decisiones.

Así como en el Japón empresas como Toyota, Honda, Mazda, Fujitsu, Cannon y NEC, entre otras, fueron base del desarrollo del Just in Time, del Kaizen y de la Mejora Continua, en el caso de Seis Sigma empresas como Motorola, General Electric, Honeywell, Sears Roebuck, American Express, Johnson & Johnson, Federal Express y Ford Motor le han servido como plataforma de investigación y desarrollo.

2.1.2 Las siete metamorfosis

La nueva piedra filosofal de la calidad total permite a la empresa satisfacer siempre mejor al cliente y siempre más barato. Se demuestra que la calidad no cuesta más caro; al contrario, rinde porque permite vender.

Lo que cuesta caro es la no-calidad, es decir, el fracaso, los costos inútiles, los retrasos; todo esto es producto de una mala organización que se le traslada como multa al cliente y que le sorprende, le disgusta y finalmente le desvía hacia otros proveedores, porque tienen de ahora en adelante el dilema de elegir lo mejor.

En este proceso destinado a lograr el cero defecto (Seis Sigma implica 3.4 defectos por millón de oportunidades), las empresas se orientan en siete cambios o metamorfosis ellas son:

- **La primera metamorfosis**, implica que la empresa se interesa más en su mercado que en sí misma, en sus clientes que en sus máquinas, en sus fines que en sus medios, y que sus dirigentes sustituyen la lógica del ingeniero o del contador, centrada en una confianza desmedida en la capacidad de su técnica; por la lógica del empresario comercial, que reconoce la inutilidad de un producto lujoso que no se ha podido vender.
- **La segunda metamorfosis**, es el establecimiento de las relaciones clientes-proveedores en el interior mismo de la empresa: cada departamento, cada servicio,

cada función, cada trabajador, debe esforzarse en especificar mejor lo que desea de su fuente y en responder mejor a las demandas de su consumidor. La organización atomizada cede su lugar a una organización por flujos. Se caen los muros que defendían los territorios funcionales para dar lugar a un desarrollo de procesos integrales en los cuales todos toman parte de forma armónica.

- **La tercera metamorfosis**, consiste en dejar de “producir más” para pasar a “producir mejor desde el inicio”. Los ritmos inconmensurables no fabrican más, que aquellos productos de mala calidad con trabajadores descontentos, cansados y cada vez menos competentes. La calidad total busca el autocontrol y las acciones colectivas, produciendo bien desde la primera etapa, corrigiendo el defecto al momento de producirse.
- **La cuarta metamorfosis**, implica sustituir el modelo mecanicista de una organización que asigna a cada individuo un puesto instrumental de ejecutante, por un modelo biológico donde los equipos responsables asumen misiones, uniendo colectivamente su talento para hacerlo. Se sustituye la empresa piramidal por la empresa multicelular.
- **La quinta metamorfosis**, implica pasar de una empresa aislada e intransigente frente a sus proveedores y subcontratistas, a una empresa comprometida con profundas relaciones de confianza.
- **La sexta metamorfosis**, implica la sustitución del control por la prevención. Un incremento en los costos de prevención aporta como resultado una disminución en el costo total de calidad, al reducirse significativamente los costos por fallos internos y externos, y disminuir las necesidades de evaluación.
- **La séptima metamorfosis**, implica la eliminación de todos los desperdicios y despilfarros, no sólo los relativos al proceso productivo, sino también los inherentes a las actividades administrativo-burocráticas.

Lograr estos cambios permite llegar a los “Seis Ceros”: cero defectos, cero stocks, cero averías, cero plazos, cero papeles y cero accidentes.

Así como en el Japón empresas como Toyota, Honda, Mazda, Fujitsu, Cannon Sony, Toshiba y NEC entre otras fueron base del desarrollo del Just in Time, del Kaizen y la Mejora Continua, en el caso de Seis Sigma empresas como Motorola, Allied Signal, General Electric, Polaroid, Honeywell, Sears Roebuck, American Express, Johnson & Johnson, Federal Express, Ford Motor, Lockheed, NASA, Black & Decker, Bombardier, Dupont, Astec, CMI, Marini, etc., le han servido como plataforma de investigación y desarrollo.

2.1.3 Historia del Seis Sigma

La historia de Seis Sigma se inicia en los años 1,980 como una filosofía y estrategia de negocios y de mejoramiento de la calidad, introducida por Motorola. El ingeniero Mikel Harry empezó a influenciar en la organización para que se estudie la variación en los procesos (enfocado en los conceptos de Deming), como una manera de mejorar los mismos.

Estas variaciones son las que estadísticamente se conoce como desviación estándar (alrededor de la media), la cual se representa por la letra griega sigma (σ). Esta

iniciativa se convirtió en el punto focal del esfuerzo para mejorar la calidad en Motorola, logrando la atención de Bob Galvin representante de Motorola.

Con el apoyo de Galvin, se hizo énfasis no sólo en el análisis de la variación sino también en la mejora continua, estableciendo como meta obtener 3.4 defectos (por millón de oportunidades) en los procesos; algo casi cercano a la perfección.

Esta iniciativa llegó a oídos de Lawrence Bossidy, quién en 1,991 y luego de una exitosa carrera en General Electric, toma las riendas de Allied Signal para transformarla de una empresa con problemas en una institución exitosa.

Durante la implantación de Seis Sigma en los años 1,990 con el liderazgo de Lawrence Bossidy, Allied Signal multiplicó sus ventas y sus ganancias de manera expectante. Este ejemplo fue seguido por Texas Instruments, logrando el mismo éxito.

Por ejemplo, Motorola entre 1,987 y 1,994 redujo su nivel de defectos por un factor de 200. Redujo sus costos de manufactura en 1.4 billones de dólares. Incrementó la productividad de sus empleados en un 126.0 % y cuadruplicó el valor de las ganancias de sus accionistas.

Los resultados para Motorola hoy en día son los siguientes:

- Incremento de la productividad al 12.3 % anual.
- Reducción de los costos de mala calidad sobre el 84.0 %.
- Eliminación del 99.7 % de los defectos en sus procesos.
- Ahorros en costos de manufactura sobre los 11 billones de dólares.
- Crecimiento anual del 17.0 % compuesto sobre ganancias, ingresos y valor de sus acciones.

Durante el verano de 1,995 el Presidente de General Electric, Jack Welch, se entera del éxito de esta nueva estrategia por parte del mismo Lawrence Bossidy, dando lugar a la mayor transformación iniciada en esta enorme organización. El empuje y respaldo de Jack Welch transformaron a General Electric en una "organización Seis Sigma", con resultados impactantes en todas sus divisiones.

Por ejemplo: General Electric Medical Systems recientemente introdujo al mercado un nuevo scanner para diagnóstico (con un valor de 1.25 millones de dólares) desarrollado enteramente bajo los principios de Seis Sigma y con un tiempo de escaneo de sólo 17 segundos (lo normal eran 180 segundos).

En otra de las divisiones de General Electric Plastics, se mejoró sustancialmente uno de los procesos para incrementar la producción en casi 500 mil toneladas, logrando no sólo un beneficio mayor, sino obteniendo también el contrato para la fabricación de las cubiertas de la nueva computadora de Apple.

2.1.4 ¿Qué es Seis Sigma?

Seis Sigma implica tanto un sistema estadístico como una filosofía de gestión

Seis Sigma es una forma más inteligente de dirigir un negocio o un departamento. Seis Sigma coloca primero al cliente y usa hechos y datos para impulsar mejores resultados. Los esfuerzos de Seis Sigma se dirigen a tres áreas principales:

- Mejorar la satisfacción del cliente.
- Reducir el tiempo del ciclo.
- Reducir los defectos.

Las mejoras en estas áreas representan importantes ahorros de costos, oportunidades para retener a los clientes, capturar nuevos mercados y construirse una reputación de empresa de excelencia.

El objetivo principal de Seis Sigma es lograr un desempeño perfecto, cero defectos, donde lo que se entiende por defecto es cualquier cosa que ocasione la insatisfacción del cliente.

En consecuencia, muchas maneras tradicionales de medir el éxito simplemente no se aplican. Los clientes no juzgan el desempeño de una empresa basándose en un promedio, sino en cada transacción individual. Lo que los clientes notan y lo que les importa más es cualquier variación en el servicio y en la calidad y son estas variaciones las que Seis Sigma está destinado a eliminar.

Al utilizar análisis estadísticos para reducir la variación al mínimo, Seis Sigma permite mejorar los procesos de una manera que se puede predecir y repetir y que se basa en la información real.

Podemos definir Seis Sigma como:

- a) Una medida estadística del nivel de desempeño de un proceso o producto.
- b) Un objetivo de lograr casi la perfección mediante la mejora del desempeño.
- c) Un sistema de dirección para lograr un liderazgo duradero en el negocio y un desempeño de primer nivel en un ámbito global.

La letra griega minúscula sigma (σ) se usa como símbolo de la desviación estándar, siendo ésta una forma estadística de describir cuánta variación existe en un conjunto de datos. La medida en sigma se desarrolló para:

1. Enfocar las medidas en los clientes que pagan por los bienes y servicios. Muchas medidas sólo se concentran en los costos, horas laborales y volúmenes de ventas, siendo éstas medidas que no están relacionadas directamente con las necesidades de los clientes.
2. Proveer un modo consistente de medir y comparar procesos distintos.

El primer paso para calcular el nivel Sigma o comprender su significado es entender lo que esperan sus clientes.

En la terminología de Seis Sigma, los requerimientos y expectativas de los clientes se llaman CTQs (Críticos para la Calidad). Se usa la medida en sigma para observar que

tan bien o mal operan los procesos y darles a todos una manera común de expresar dicha medida. El significado de Seis Sigma puede entenderse en dos contextos:

- Metodológica. Es una estrategia de negocios y de mejora continua que busca encontrar y eliminar causas de errores o defectos en los procesos enfocándose a las variables de importancia crítica para los consumidores.
- Cuantificable. Es una medida de la calidad. mientras más grande es el valor de sigma de un proceso, producto o servicio, su calidad es mejor. en particular, calidad seis sigma significa sólo 3.4 defectos por millón de oportunidades. Sigma cuantifica la dispersión de esos valores respecto al valor medio y, por tanto, fijados unos límites de especificación por el cliente, superior e inferior, respecto al valor central objetivo, cuanto menor sea sigma, menor será el número de valores fuera de especificaciones y, por tanto, el número de defectos.

Por lo tanto, Seis Sigma, es una filosofía de trabajo y una estrategia de negocios, la cual se basa en el enfoque hacia el cliente, en un manejo eficiente de los datos y metodologías y diseños robustos, que permite eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3.4 defectos por millón. Adicionalmente, otros efectos obtenidos son: reducción de los tiempos de ciclo, reducción de los costos, alta satisfacción de los clientes y más importante aún, efectos importantes en el desempeño financiero de la organización.

En general, los procesos estándar tienden a comportarse dentro del rango de tres (3) Sigma, lo que equivale a un número de defectos de casi 67,000 por millón de oportunidades (DPMO), esto significa un nivel de calidad de apenas 93.32 %, en contraposición con un nivel de 99.9997 % para un proceso de Seis Sigma..

2.1.5 Niveles de Seis Sigma

El primer paso para calcular el nivel sigma o comprender su significado es entender qué esperan sus clientes. En la terminología de Seis Sigma, los requerimientos y expectativas de los clientes se llaman CTQs (Críticos para la Calidad).

Se usa la medida en Sigma para observar lo bien o mal que operan los procesos, y asignarles a todos una manera común de expresar dicha medida. La Tabla 2.1 expresa los niveles del sigma con el correspondiente DPMO.

NIVEL DE SIGMA	DEFECTOS POR MILLON DE OPORTUNIDADES
6	3.40
5	233.00
4	6,210.00
3	66,807.00
2	308,537.00
1	690,000.00

Tabla 2.1 Niveles de desempeño en sigma

Cuando una empresa viola requerimientos importantes del cliente, genera defectos, quejas y costos. Cuanto mayor sea el número de defectos que ocurran mayores será el costo de corregirlos, como así también el riesgo de perder al cliente.

La meta de Seis Sigma (σ) es ayudar a la gente y a los procesos a que aspiren a lograr entregar productos y servicios libres de defectos. Si bien Seis Sigma (σ) reconoce que hay lugar para los defectos, pues estos son relativos a los procesos mismos, un nivel de funcionamiento correcto del 99.9997 por 100 implica un objetivo donde los defectos en muchos procesos y productos son prácticamente inexistentes.

La meta de Seis Sigma es especialmente ambiciosa cuando se tiene en cuenta que antes de empezar con una iniciativa de Seis Sigma (σ), muchos procesos operan en niveles de 1.2 y 2.5 Sigma en el Perú, especialmente en áreas de servicio y administrativas.

Se debe tener en cuenta que un cliente insatisfecho contará su desafortunada experiencia a entre nueve y diez personas, o incluso más si el problema es serio. Y por otro lado el mismo cliente sólo se lo dirá a tres personas si el producto o servicio lo ha satisfecho. Ello implica que un alto nivel de fallos y errores son una fácil ruta a la pérdida de clientes actuales y potenciales.

Como sistema de dirección, Seis Sigma (σ) no es propiedad de la alta dirección más allá del papel crítico que esta desempeña, ni impulsado por los mandos intermedios (a pesar de su participación clave).

Las ideas, soluciones, descubrimientos en procesos y mejoras que surgen de Seis Sigma están poniendo más responsabilidad, a través del empowerment y la participación, en las manos de la gente que está en las líneas de producción y/o que trabajan directamente con los clientes.

Seis Sigma (σ) es, pues, un sistema que combina un fuerte liderazgo con el compromiso y la energía de la base.

2.1.6 Principios básicos del Seis Sigma

Principio 1: Enfoque genuino en el cliente

El enfoque principal es dar prioridad al cliente. Las mejoras Seis Sigma se evalúan por el incremento en los niveles de satisfacción y creación de valor para el cliente. Las plantas de asfalto instaladas en el Perú no cumplen con este Principio.

Principio 2: Dirección basada en datos y hechos

El proceso Seis Sigma se inicia estableciendo cuáles son las medidas clave a medir, pasando luego a la recolección de los datos para su posterior análisis. De tal forma, los problemas pueden ser definidos, analizados y resueltos de una forma más efectiva y permanente, atacando las causas raíces o fundamentales que los originan, y no sus síntomas.

Principio 3: Los procesos están donde está la acción

Seis Sigma se concentra en los procesos. Así pues, dominando éstos se lograrán importantes ventajas competitivas para la empresa.

Principio 4: Dirección proactiva

Ello significa adoptar hábitos como definir metas ambiciosas y revisarlas frecuentemente, fijar prioridades claras, enfocarse en la prevención de problemas y cuestionarse por qué se hacen las cosas de la manera en que se hacen.

Principio 5: Colaboración sin barreras

Debe ponerse especial atención en derribar las barreras que impiden el trabajo en equipo entre los miembros de la organización, logrando de tal forma mejor comunicación y un mejor flujo en las labores.

Principio 6: Buscar la perfección

Las compañías que aplican Seis Sigma tienen como meta lograr una calidad cada día más perfecta, estando dispuestas a aceptar y manejar reveses ocasionales.

2.1.7 Determinación del nivel Sigma

Sigma (σ) es un parámetro estadístico de dispersión que expresa la variabilidad de un conjunto de valores respecto a su valor medio, de modo que cuanto menor sea sigma, menor será el número de defectos.

De tal forma, en la escala de calidad de Seis Sigma se mide el número de sigmas que caben dentro del intervalo definido por los límites de especificación, de modo que cuanto mayor sea el número de sigmas que caben dentro de los límites de especificación, menor será el valor de sigma y por tanto, menor el número de defectos.

La diferencia entre la Tolerancia Superior (TS) y la Tolerancia Inferior (TI) dividido por el desvío estándar, resulta la cantidad (o nivel) de Sigmas (σ).

La Capacidad del Proceso para un nivel 6 Sigma es igual a 2, resultante de dividir la diferencia entre las Tolerancias Superior e Inferior por seis sigma.

En un nivel 6 sigma entran en el espacio existente entre la Tolerancia Superior (TS) y la Tolerancia Inferior (TI) un total de 12 Sigmas (σ).

Siempre que la medición esté dentro del intervalo TS-TI, diremos que el producto o servicio es conforme o de calidad. En este caso se siguen las ideas de Crosby, quien considera la calidad como sinónimo de cumplimiento de las especificaciones. Así pues, cuanto más cercanos estén los valores de las mediciones al Valor Central Óptimo, más

pequeño será es valor de sigma, y de tal forma mayor números de sigmas entrarán dentro de los límites de tolerancia.

En la Figura 2.2 se observa que partiendo de los ejes de coordenadas ubicadas en el cuadrante superior izquierdo, una recta con pendiente negativa, corresponde a la relación existente entre la desviación estándar (sigma) y la cantidad de Sigmas (σ). En consecuencia cuanto mayor sea el valor de sigma, menor es el valor de z (cantidad de sigmas) y, por el contrario, al disminuir el valor de sigma, la cantidad de sigmas que se encuentran en los límites de la tolerancia aumenta.

En los ejes de coordenadas del cuadrante superior derecho se tiene una recta con pendiente positiva, la cual indica que al aumentar el nivel de Z se incrementa el Rendimiento del proceso (%).

En el cuadrante inferior derecho se tiene una recta con pendiente negativa, la cual nos indica que al aumentar el rendimiento, la cantidad de Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO) disminuye.

En el cuadrante inferior izquierdo la recta tiene pendiente positiva e indica que al aumentar la cantidad de DPMO el valor de sigma aumenta, en tanto que si el nivel de DPMO disminuye el valor de sigma también decrece.

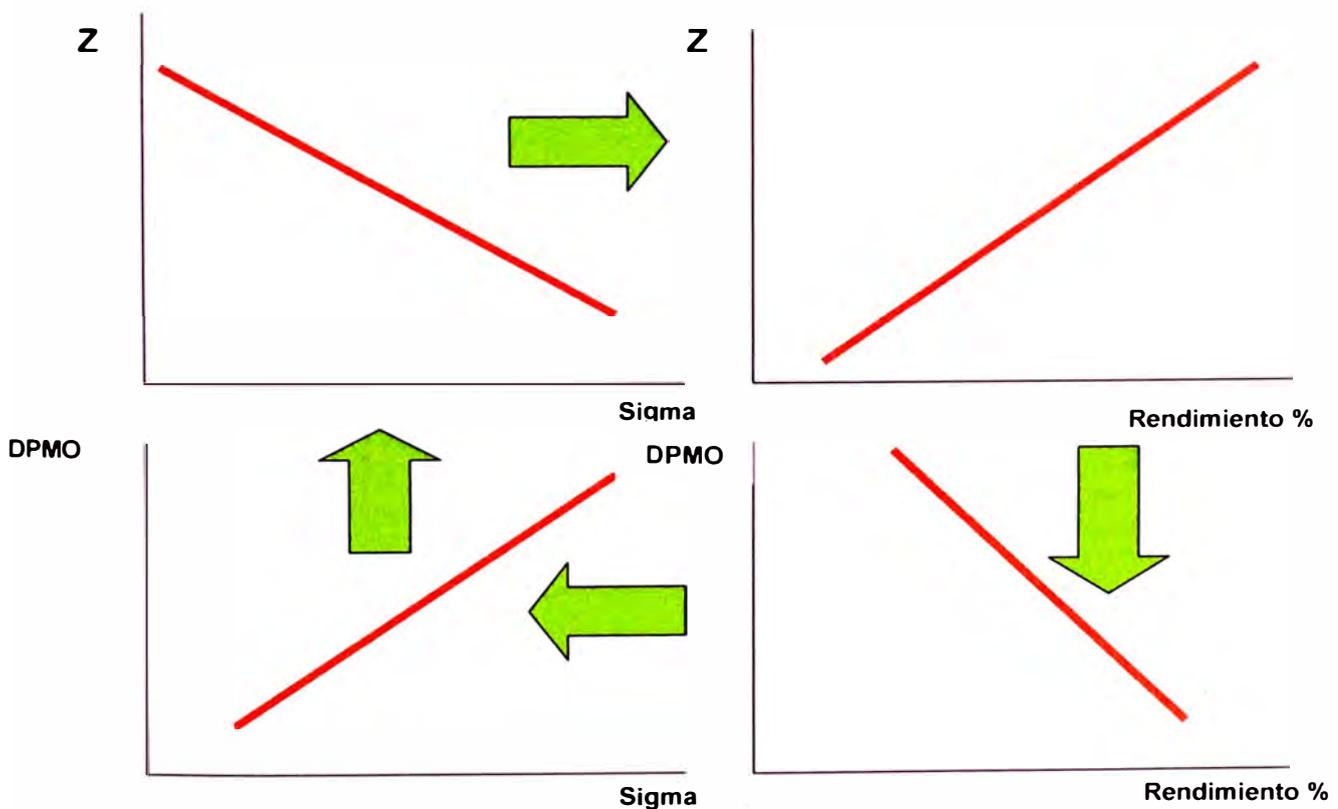


Figura 2.2 Relación entre nivel o cantidad de Sigmas, desviación estándar, DPMO y rendimiento

Calcular el nivel de sigmas para la mayoría de los procesos es bastante fácil. Dado un determinado producto o servicio, se determinan los Factores Críticos de Calidad (FCC), luego se multiplican éstos por la cantidad de artículos producidos, obteniéndose el Total de Defectos Factibles (oportunidades de fallos).

Si dividimos los fallos detectados (con los distintos sistemas de medición en función del tipo de bien o servicio) por el Total de Defectos Factibles (TDF), y luego lo multiplicamos por un millón, obse tiene los Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO).

Luego, analizando la Tabla 2.2 de Conversión de Sigma se tienen los niveles de Sigma. Los Factores Críticos de Calidad pueden ser determinados tanto por los clientes internos como externos, y serán aplicados a las distintas etapas de los diversos procesos.

En cuanto a la metodología de medición, ésta se efectuará por muestreos internos (mediciones) o mediante cuestionario para la totalidad o parte de los consumidores. Así por ejemplo, para un determinado producto se han identificado 12 Factores Críticos de Calidad (FCC). El Departamento de Producción reporta que se han producido un total de 250,000 artículos.

Se va a tomar una muestra de 1,500 artículos, por lo tanto el total de Defectos Factibles (DF), resulta al multiplicar el número de artículos por el número de Factores Críticos de Calidad (FCC).

$$1,500 \times 12 = 18,000 \text{ DF}$$

Si el total de errores o fallos detectados asciende a 278, entonces se calcula el número de Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO), resultando Figura 2.3.

$$\frac{278}{18,000} \times 1,000,000 = 15,444.44 \text{ DPMO}$$

Para este nivel de DPMO la cantidad de sigmas es de 3.67 lo cual implica un rendimiento entre el 98.32 % y el 98.78% como lo indica la Tabla 2.2.

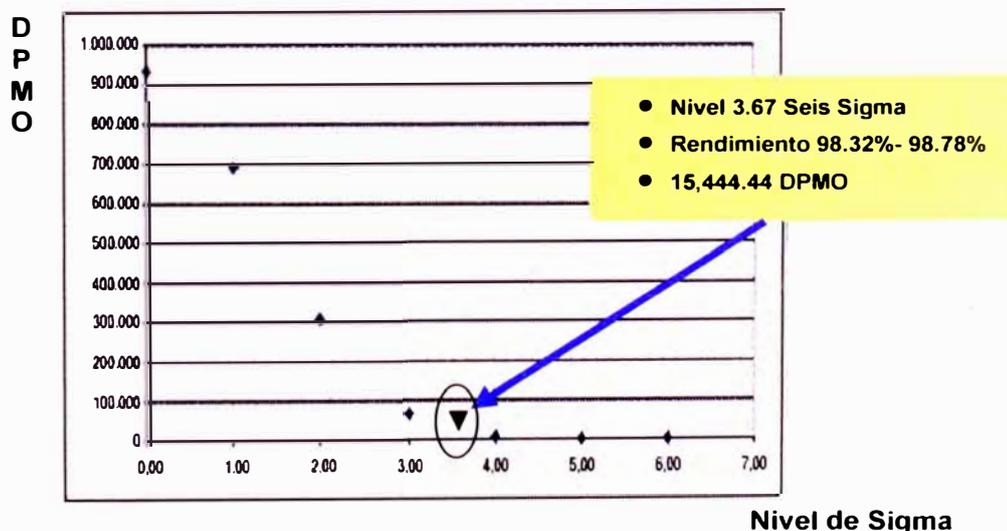


Figura 2.3 Cuadro DPMO vs Nivel Sigma

Rendimiento (%)	NIVEL EN SIGMA	DPMO
6.68	0.00	933,200
8.455	0.13	915,450
10.56	0.25	894,400
13.03	0.38	869,700
15.87	0.50	841,300
19.08	0.63	809,200
22.66	0.75	773,400
26.595	0.88	734,050
30.85	1.00	691,500
35.435	1.13	645,650
40.13	1.25	598,700
45.025	1.38	549,750
50.	1.50	500,000
54.975	1.63	450,250
59.87	1.75	401,300
64.565	1.88	354,350
69.15	2.00	308,500
73.405	2.13	265,950
77.34	2.25	226,600
80.92	2.38	190,800
84.13	2.50	158,700
86.97	2.63	130,300
89.44	2.75	105,600
91.545	2.88	84,550
93.32	3.00	66,800
94.79	3.13	52,100
95.99	3.25	40,100
96.96	3.38	30,400
97.73	3.50	22,700
98.32	3.63	16,800
98.78	3.75	12,200
99.12	3.88	8,800
99.38	4.00	6,200
99.565	4.13	4,350
99.7	4.25	3,000
99.795	4.38	2,050
99.87	4.50	1,300
99.91	4.63	900
99.94	4.75	600
99.96	4.88	400
99.977	5.00	230
99.982	5.13	180
99.987	5.25	130
99.992	5.38	80
99.997	5.50	30
99.99767	5.63	23.35
99.99833	5.75	16.7
99.999	5.88	10.05
99.99966	6.00	3.4

Tabla 2.2 *Tabla de conversión: nivel en Sigma a partir de los DPMO y rendimiento*

2.1.8 Gráficos del Seis Sigma

La grafica de Seis Sigma es utilizada para demostrar el nivel de defectos registrados durante el proceso de variación y la media que se obtiene como lo muestra la Figura 2.4. En la gráfica se muestra que el proceso de variación está situado en la zona donde se realiza la correspondiente media, siendo esta zona la permitida para que el proceso cambie en pequeña escala.

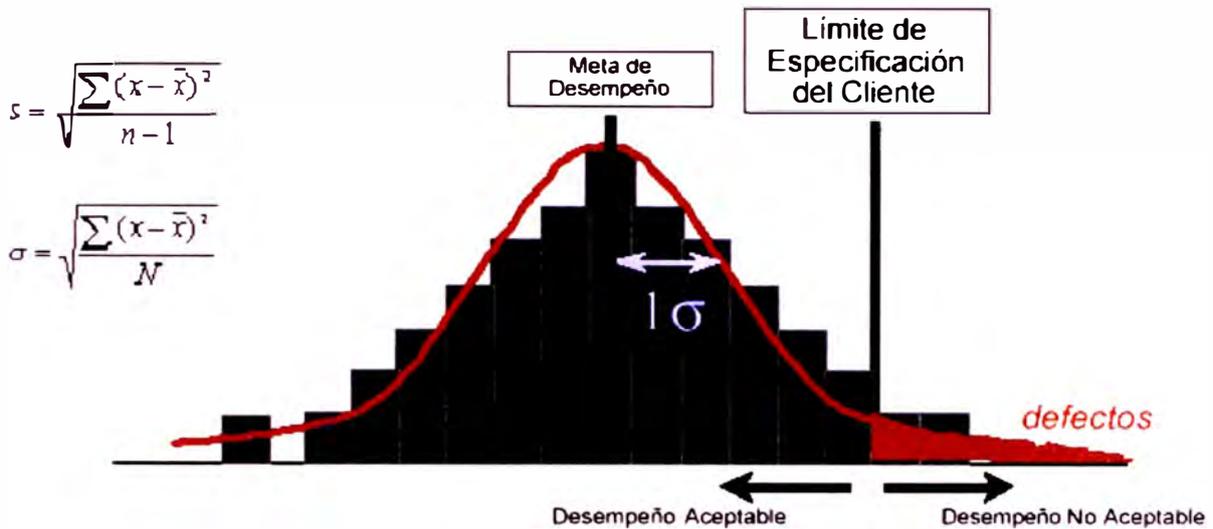


Figura 2.4 Cada paso del proceso contiene variabilidad

El objetivo del Seis Sigma (σ) es obtener la menor cantidad de defectos (3.4 partes por millón), esto es, casi es cero defectos. La media es el indicador que permite conocer el punto central del proceso de variación, que indica que en variación cero no se presenta alguna alteración del proceso como se muestra en la Figura 2.5. Este es el proceso que representa la calidad de cualquier actividad a realizar.

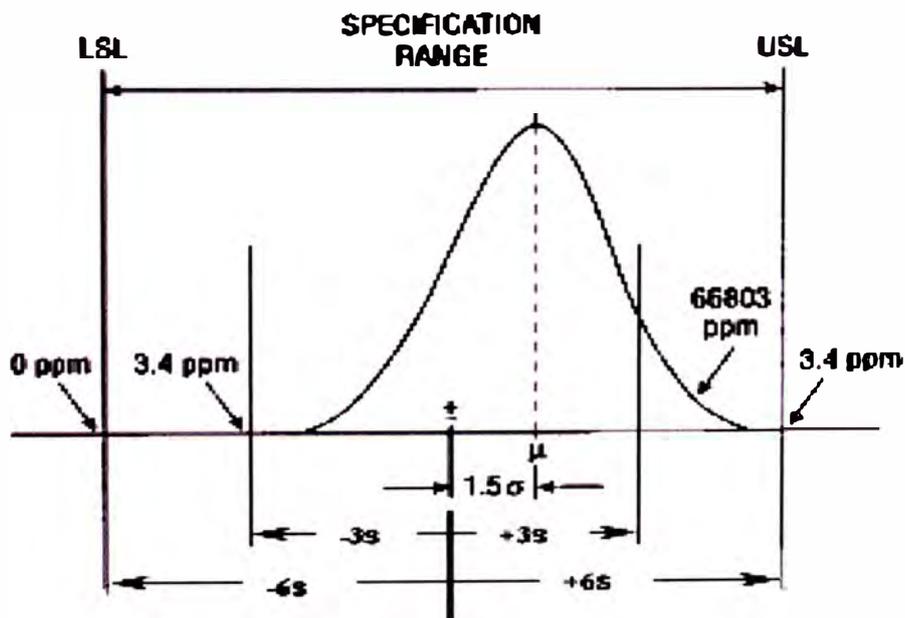


Figura 2.5 Proceso de mejora Seis Sigma

Los niveles de mejora del Seis Sigma, indican el porcentaje de error de un proceso. Los procesos son evaluados en base a criterios que se representan en niveles Seis Sigma: desde el nivel 1(σ) al nivel 6(σ)), obteniéndose la distribución de datos y los porcentajes de error mostrados en la Figura 2.6.

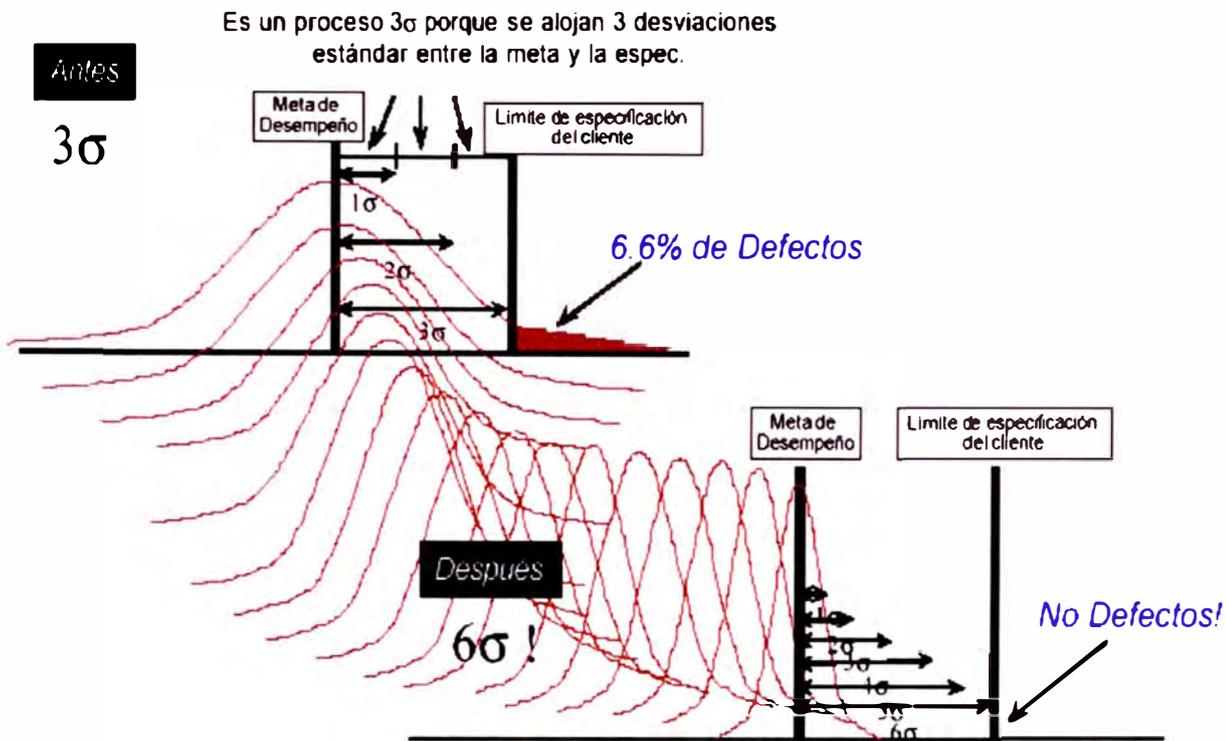


Figura 2.6 Niveles de mejora Seis Sigma

La mayor parte de los criterios de evaluación están estandarizados internacionalmente, sólo algunos se pueden modificar de acuerdo a la relación proveedor-cliente. El área bajo la curva indica los niveles y valores, con porcentajes de confiabilidad diferentes, que van desde 30.85 % (nivel 1) hasta 99.999943% (nivel 6).

El área bajo la curva comprende el valor de la media de los datos y las desviaciones hacia la izquierda y derecha que dependen del nivel de confiabilidad (procesos de variación), donde están distribuidos los datos.

Los niveles Seis Sigma están ubicados en la parte derecha e izquierda de la media, indicando el rango de distribución de los datos y se analizan ambos lados de la gráfica.

La representación gráfica de la distribución normal de los datos es analizada y en base a ella se obtienen los resultados del proceso y tomar las decisiones adecuadas para las mejoras y contramejoras de dichos procesos.

La Figura 2.7 muestra el diseño del intervalo de análisis y el rango de variación del Seis Sigma.

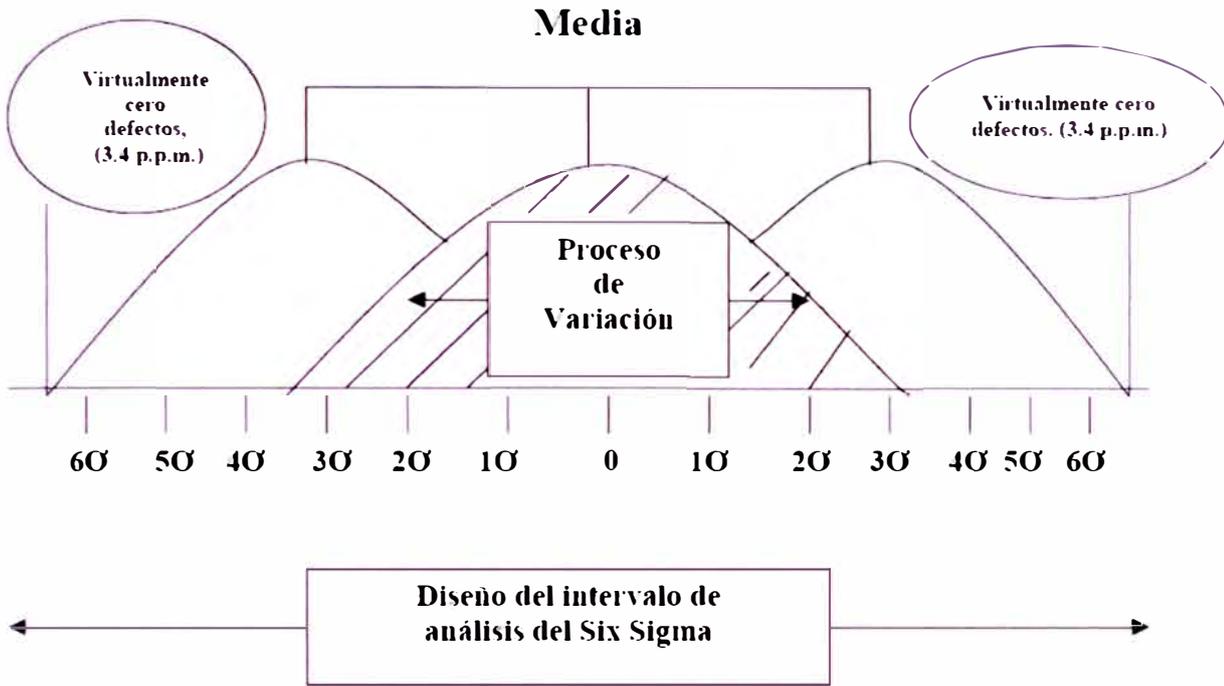


Figura 2.7 Rango de variación Seis Sigma

Para la aplicación y análisis de información mediante Seis Sigma, se requiere del uso intensivo de herramientas y metodologías estadísticas (en su mayoría) para reducir la variabilidad de los procesos y producir los resultados esperados, con el mínimo posible de defectos, bajos costos y máxima satisfacción del cliente.

Esto contrasta con la forma tradicional de asegurar la calidad, al inspeccionar ex-post y tratar de corregir los defectos, una vez producidos.

Un proceso con una curva de capacidad afinada para Seis Sigma según la Figura 2.8, es capaz de producir con un mínimo de hasta 3.4 defectos por millón de oportunidades (DPMO), lo que equivale a un nivel de calidad del 99.9997 %.

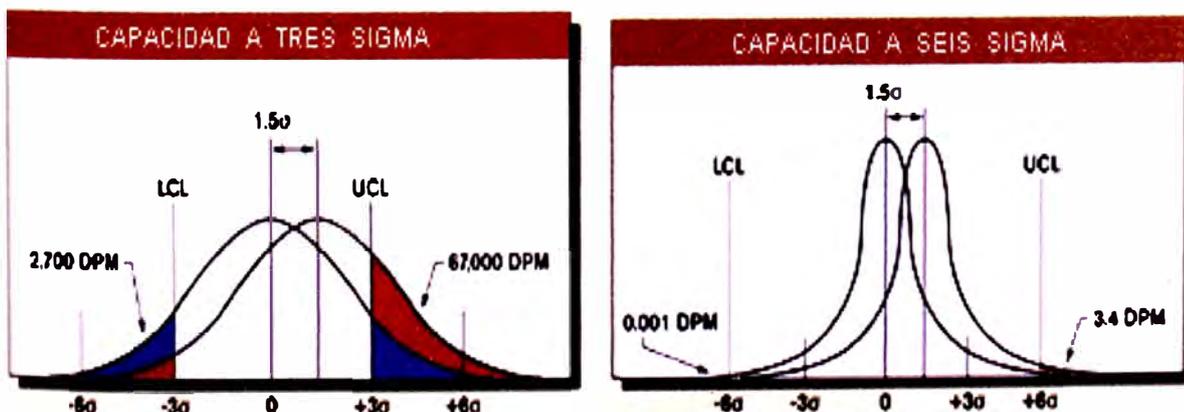


Figura 2.8 Curvas de capacidad Seis Sigma

Este nivel de calidad se aproxima al ideal del cero-defectos y puede ser aplicado no solo a procesos industriales de manufactura, sino también en procesos transaccionales y comerciales de cualquier tipo, como por ejemplo: en servicios financieros, logísticos, mercantiles, tecnología, etc. Empresas como ASTEC, CMI, MARINI han logrado estos niveles de calidad tanto en la producción de mezclas como en equipos.

También en este nivel es más difícil calcular los Costos de Oportunidad (C_p) para determinar finalmente los Costos de Calidad, sin embargo se tiene el rango de variación con los respectivos límites superior e inferior mostrados en la Figura 2.9.

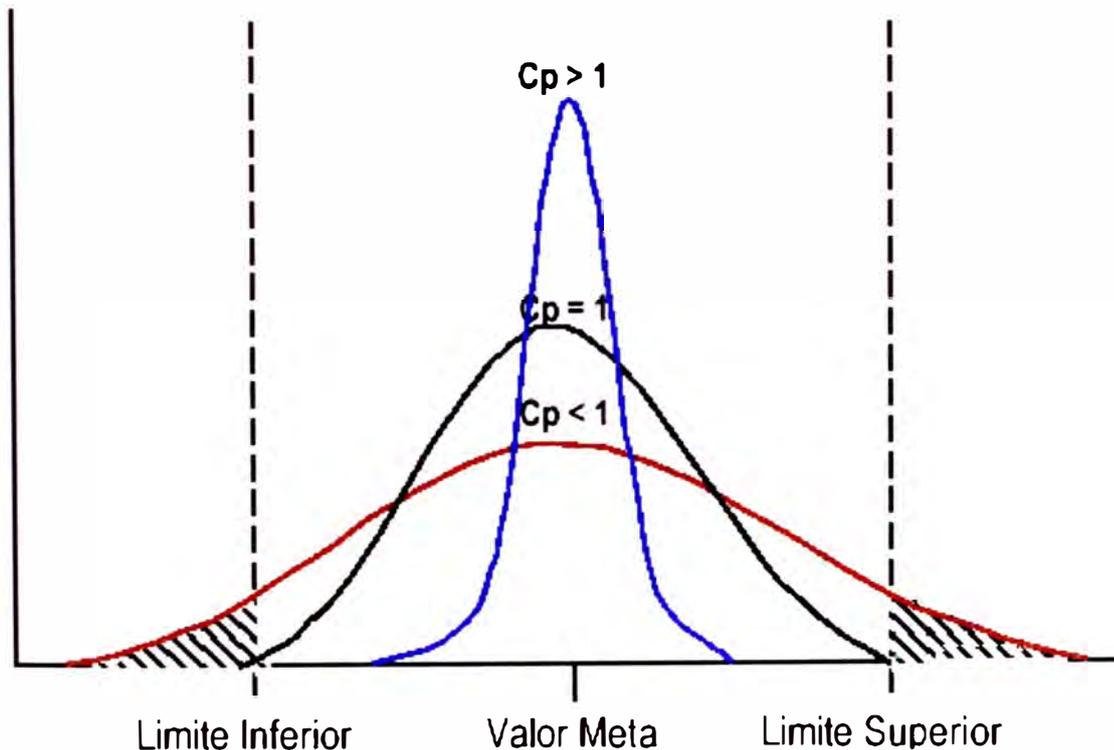


Figura 2.9 Definiciones de los costos de calidad

2.1.9 Método de resolución de problemas

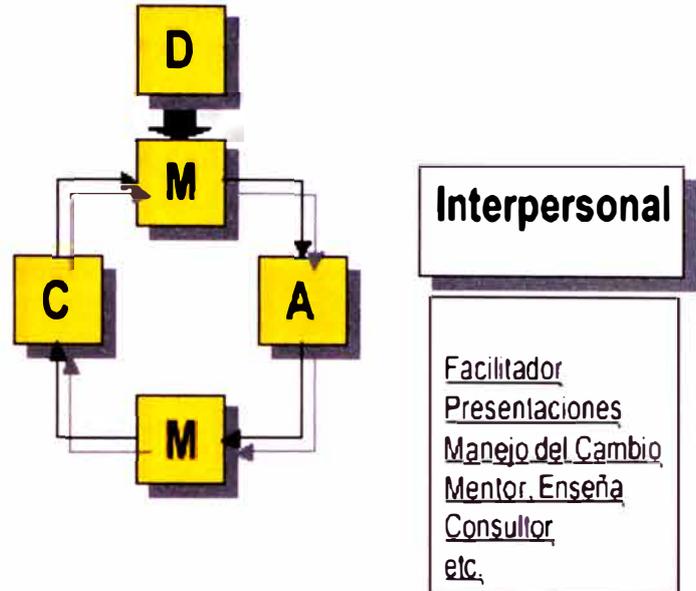
Uno de los métodos de resolución de variabilidad de procesos es la metodología DMAMC que significa lo siguiente:

- Definir.
- Medir
- Analizar.
- Mejorar.
- Controlar.

La Figura 2.10 presenta el ciclo de la metodología Seis Sigma a partir de la definición del problema, medir, analizar, mejorar y controlar.

Basado en responsabilidades y

- + Habilidades Interpersonales
 - + Estadística & Solución de Problemas
 - + Competencias de Soporte
- para mejorar procesos**



Medir	Analizar	Mejorar	Controlar
Linea Base del Proceso	Colección de Datos	DOE	Verificación del Proceso
Identificar Clientes	Es Estable?	Hacerlo estable	Establece estrategia de control
Flujo del Proceso	Es capaz?	Hacerlo Capaz	Maneje de valor añadido
Métricos/Indicadores	Niveles de Defectos	Optimizar	Usando Diseño Concurrente
Defectos	Fuentes de Variación	Hacerlo Robusto	Mejora sustentable
Benchmark	Pensamiento "Agil"		

Figura 2.10 Ciclo DMAMC

Este método es llevado a la práctica por grupos especialmente formados a los efectos de dar solución a los diversos problemas u objetivos de la compañía. Las claves del DMAMC se encuentran en:

- **Medir el problema.** Siempre es menester tener una clara noción de los defectos que se están produciendo en cantidades y expresados también en valores monetarios.
- **Enfocarse en el cliente.** Las necesidades y los requerimientos del cliente son fundamentales, y ello debe tenerse siempre debidamente en consideración.
- **Verificar la causa raíz.** Es menester llegar hasta la razón fundamental o raíz, evitando quedarse sólo en los síntomas.
- **Romper con los malos hábitos.** Un cambio de verdad requiere soluciones creativas.
- **Gestionar los riesgos.** El probar y perfeccionar las soluciones es una parte esencial de la disciplina Seis Sigma.
- **Medir los resultados.** El seguimiento de cualquier solución es verificar su impacto real.
- **Sostener el cambio.** La clave final es lograr que el cambio perdure.

La metodología del Seis Sigma mostrada en la Figura 2.11, consiste en desarrollar mediante un análisis de flujo los aspectos que tienen efectos directos en el mejoramiento y calidad de los proyectos o productos, identificando los factores que generan proactividad y aquellos que generan reacción.

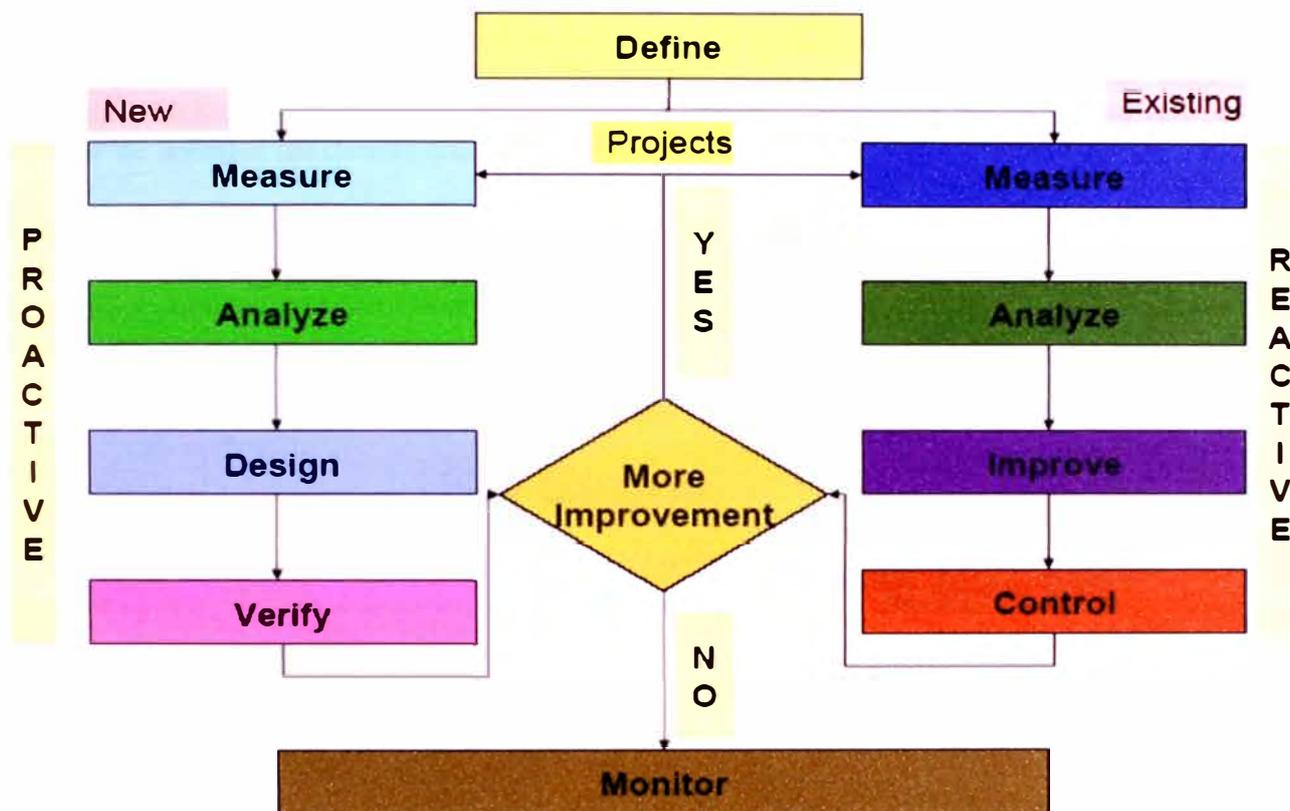


Figura 2.11 Metodología Seis Sigma

A continuación se describe la Metodología Seis Sigma.

1.- Definir el problema

Debe definirse claramente en qué problema se va a trabajar, por qué se trabaja en ese problema en particular, quién es el cliente, cuáles son los requerimientos del cliente, cómo se lleva a cabo el trabajo en la actualidad, cuáles son los beneficios de realizar una mejora. Siempre debe tenerse en cuenta que definir correctamente un problema implica tener un 50% de su solución. Un problema mal definido llevará a desarrollar soluciones para falsos problemas.

2.- Medir

El medir persigue dos objetivos fundamentales:

- Tomar datos para validar y cuantificar el problema o la oportunidad. Esta es una información crítica para refinar y completar el desarrollo del plan de mejora.
- Nos permite y facilita identificar las causas reales del problema.

El conocimiento de estadística se hace fundamental. “La calidad no se mejora, a no ser que se la mida”.

3.- Analizar

El análisis nos permite descubrir la causa raíz. Para ello se hará uso de las distintas herramientas de gestión de la calidad mostradas en la Figura 2.12. Las herramientas de análisis deben emplearse para determinar dónde estamos, y no para justificar los errores.

Al respecto cabe acotar que el Diagrama de Pareto es la herramienta más adecuada para calcular aquellos efectos que resultan prioritarios respecto a los factores que tienen mayor importancia en la generación de fallas o errores, pero ello no significa que se deba dejar de atender las demás causas.

Al respecto Crosby señala que *“a los numerosos pero triviales ni siquiera se les hacen caso; se les dejan que deterioren al producto o servicio. Consideran que no vale la pena dedicar tiempo a solucionarlos. En cambio para un auténtico enfoque de cero defectos, todos los elementos son importantes”*.

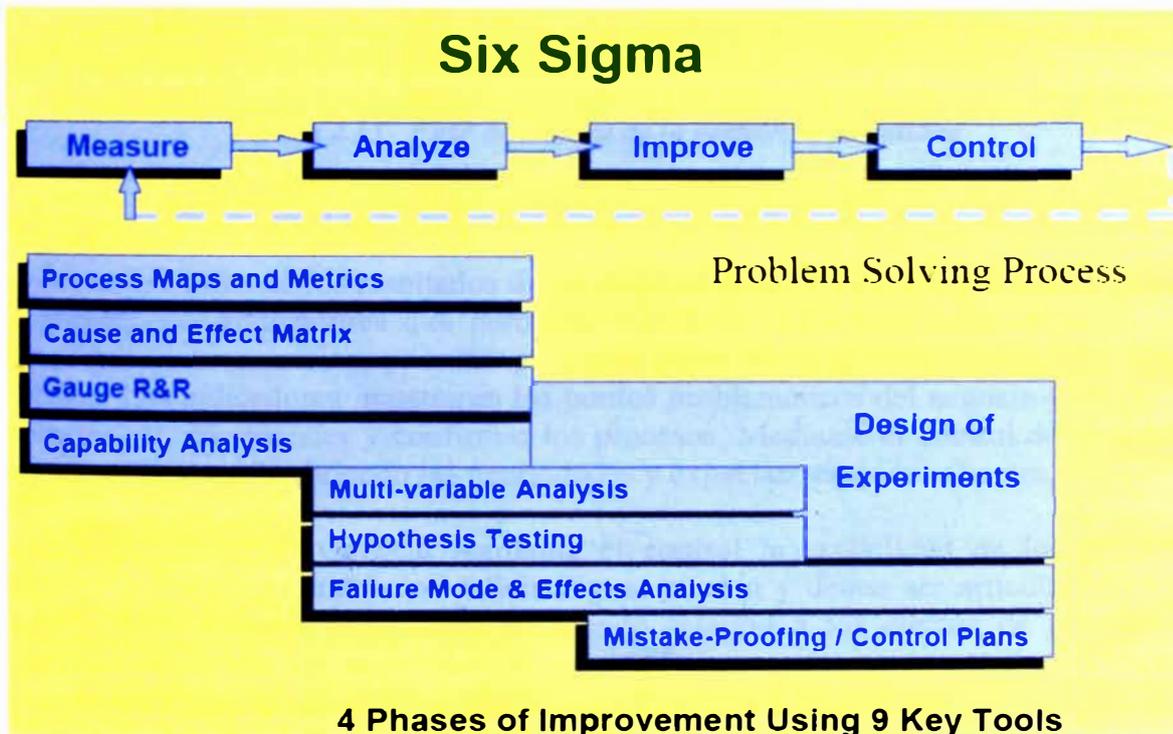


Figura 2.12 Herramientas de la gestión de la calidad

4.- Mejorar

En esta etapa asume una preponderancia fundamental la participación de todos los participantes del proceso, como así también la capacidad creativa, entre los cuales se encuentran el uso de nuevas herramientas como el Pensamiento Lateral y la Programación Neuro-Lingüística (PNL).

La fase de mejora implica tanto el diseño como la implementación (Figura 2.13). En esta fase de diseño es muy importante la actividad de benchmarking a los efectos de detectar en otras unidades de la misma empresa o en otras empresas (competidoras o no) formas más efectivas de llevar a cabo un proceso.

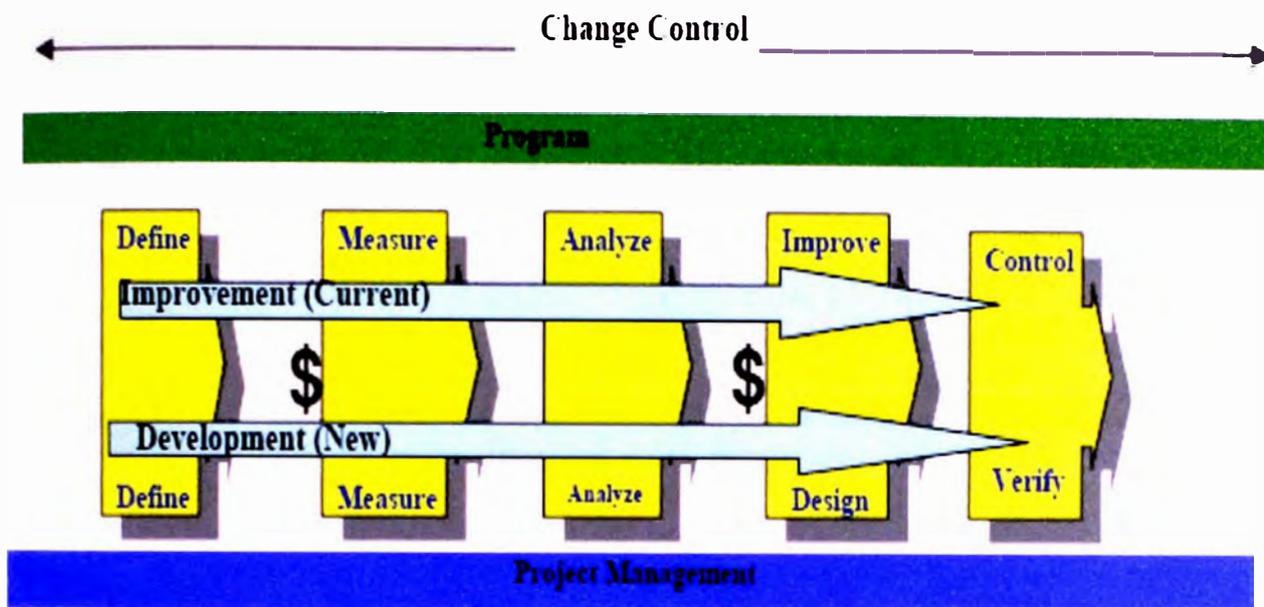


Figura 2.13 Fase de mejora de la gestión de la calidad

5.- Controlar

Es necesario confirmar los resultados de las mejoras realizadas. Debe por tanto definirse claramente unos indicadores que permitan visualizar la evolución del proyecto. Los indicadores son necesarios, pues no podemos basar nuestras decisiones en la simple intuición. Los indicadores mostrarán los puntos problemáticos del negocio y ayudarán a caracterizar, comprender y confirmar los procesos. Mediante el control de resultados se logra saber si está cubriendo las necesidades y expectativas de los clientes.

Es además primordial verificar mediante el control la estabilidad de los procesos. Distintos indicadores vinculados a Seis Sigma pueden y deben ser articulados en los Tableros de Comandos o Cuadros de Mando Integral a los efectos de permitir un monitoreo constante en la evolución de los mismos por parte de los diferentes funcionarios y responsables de los procesos productivos y de mejoras.

Entre los indicadores a monitorear se tiene:

- **Indicadores relacionados con el costo:** los mismos incluyen costos correspondientes a las operaciones, las materias primas, de despilfarro y reciclaje, de comercialización, de desarrollo de productos.
- **Indicadores relacionados con el tiempo de:** los ciclos (productivos, comerciales, de respuestas) y de cumplimiento de las etapas de los procesos de implementación de mejoras.
- **Indicadores relacionados con las prestaciones:** tales como cuota de mercado, cotización de las acciones, imagen de la empresa, niveles de satisfacción de los clientes y consumidores, y participación de los empleados (cantidades de sugerencias por período de tiempo y niveles de ahorros o beneficios subsecuentes).

2.2 Aplicación del Seis Sigma a las plantas de asfalto con mapa de procesos

El alcance del presente estudio consiste en ofrecer una ayuda a los diseñadores, operadores de plantas y cuadrillas de pavimentación a conocer las causas de la segregación y las soluciones conocidas de la misma. Cada porción de las operaciones de planta, pavimentadora y transporte que puede causar segregación se describe por separado. Además, una tabla para diagnóstico acompaña el presente artículo para ayudar a identificar los tipos de segregación y sus causas probables a partir de los siguientes aspectos:

Con la aplicación del Mapa de Procesos se presenta la aplicación del Seis Sigma y se ofrece a los diseñadores de mezclas, operadores de planta y a todas aquellas personas involucradas en el campo de la industria del asfalto una metodología para determinar las causas de la segregación en las mezclas y las potenciales soluciones a partir de la Metodología del Seis Sigma con las siguientes etapas:

1. **DEFINIR EL PROBLEMA.**
2. **MEDIR LAS VARIABLES CRÍTICAS.**
3. **ANALIZAR LAS VARIABLES CRÍTICAS.**
4. **MEJORAR LOS PROCESOS.**
5. **CONTROLAR LOS PROCESOS.**

DEFINIR EL PROBLEMA: SEGREGACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS QUE OCASIONAN EL DETERIORO PREMATURO DE LOS PAVIMENTOS

Las mezclas de asfalto en caliente cuando son diseñadas, producidas y colocadas adecuadamente, ofrecen una larga vida útil a los pavimentos y requieren poco mantenimiento. Sin embargo, existen potencialmente, varios problemas perjudiciales que pueden ocurrir en el diseño, producción y colocación de la mezcla asfáltica en caliente. Quizás de estos problemas, el más serio es la segregación.

La segregación es un problema que frecuentemente se viene repitiéndose en los pavimentos y que ha causado mucha preocupación en la industria de la pavimentación durante décadas, por lo tanto este tema está siendo tratado con mucha atención por contratistas, organismos responsables de la construcción a carreteras estatales y fabricaciones de equipo.

La segregación es un fenómeno físico que se presenta cuando existe una concentración de materiales gruesos en algunas zonas de la mezcla, mientras que otras zonas contienen una concentración de materiales más finos. La segregación genera mezclas no-uniformes las cuales no están de acuerdo con el diseño original de gradación y

contenido de asfalto. En consecuencia el pavimento resultante presenta texturas y características estructurales deficientes y con periodos de vida cortos.

Los problemas asociados con la segregación son serios; y su eliminación es esencial para la producción de mezclas de alta calidad. En tal sentido la eliminación de la segregación es la responsabilidad de quienes producen y colocan mezclas del asfalto, de los organismos responsables de la construcción de carreteras en el Perú como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones; asimismo de aquellos que diseñan mezclas e inspeccionan el producto final, y de los fabricantes que diseñan y fabrican plantas de asfalto y maquinaria para la industria de la pavimentación.

Con la identificación de las variables críticas en cada uno de los procesos se logra reducir la variabilidad y el monitoreo de cada variable a efecto que las mezcla asfálticas sean producidas con la calidad establecidas en el correspondiente diseño.

El Mapa de Procesos que se muestra a continuación analiza los principales procesos como:

- Clasificación de los agregados.
- Almacenamiento y manipulación de los agregados para la preparación de la mezcla asfáltica.
- Producción de la mezcla asfáltica en caliente en la planta de asfalto.

Asimismo se han identificado las principales variables críticas como:

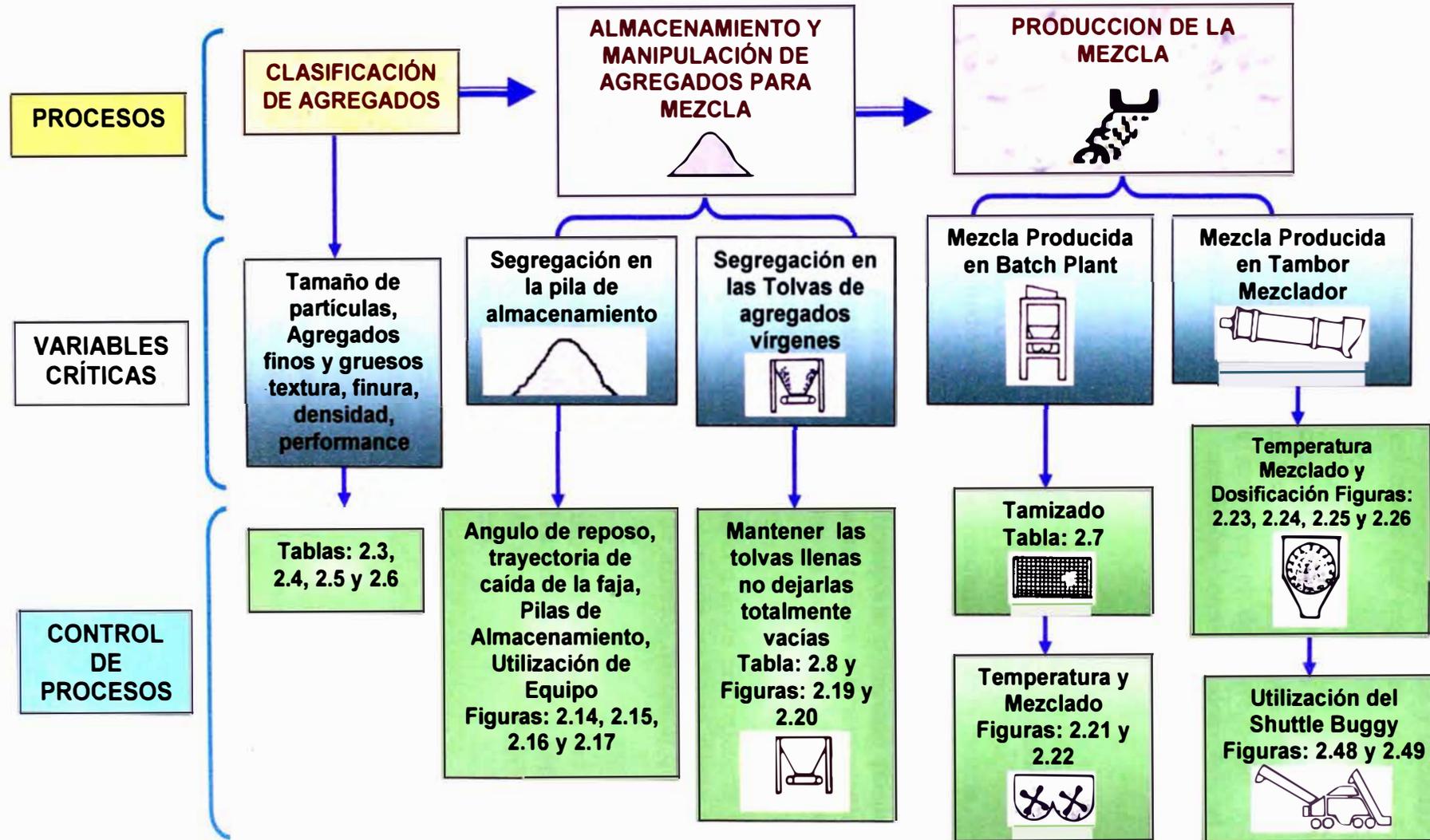
- Tamaño, textura, finura y performance de los agregados finos y gruesos.
- Segregación presentada en la pila de almacenamiento.
- Segregación presentada en las tolvas de agregados.
- Mezcla producida tanto en batch plant como en plantas con tambor mezclador.

El control de los procesos se los efectúa a través de los siguientes indicadores:

- Tablas de densidades y granulometría de los agregados.
- Ángulo de reposo de las pilas de almacenamiento y utilización de equipo.
- Usos y operación de las tolvas de agregados.
- Características y propiedades del tamizado de los agregados.
- Niveles permisibles la temperatura.
- Tiempo requerido para el mezclado.
- Condiciones de temperatura para la dosificación e inyección del cemento asfáltico.
- Obtención de la mezcla asfáltica en caliente.
- Usos y aplicaciones del Shuttle Buggy o Vehículo de Transferencia de Mezcla Asfáltica en Caliente.

MAPA DE PROCESOS

PROBLEMA IDENTIFICADO: SEGREGACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE



2.2.1 Indicadores de medición de las variables críticas para el control de los procesos

Las mezclas de asfalto caliente que están debidamente diseñadas, producidas y vaciadas en su lugar proporcionan pavimentos duraderos y resistentes que requieren muy poco mantenimiento.

Sin embargo, existe una cantidad de problemas potencialmente dañinos que pueden surgir durante el diseño, producción y vaciado de mezclas calientes para pavimentación. De todos estos problemas, probablemente el más grave es el de segregación. A continuación se presenta los indicadores de medición considerados en el correspondiente Mapa de Procesos.

a) Diseño de mezcla

El diseño adecuado de la mezcla es importante para eliminar la segregación. Las mezclas que se diseñan de modo uniforme, sin granulometría discontinua, generalmente son muy tolerantes. Permiten la existencia de errores en otras partes de las operaciones de la planta o de vaciado sin afectar de modo significativo el rendimiento de la mezcla.

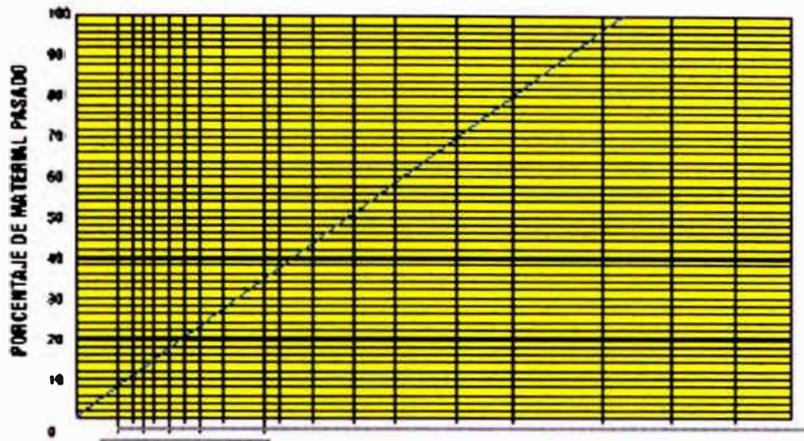
Las mezclas con granulometría discontinua son muy sensibles a su vez. En consecuencia, el más leve error en el proceso de planta, transporte o vaciado puede producir superficies no uniformes. Si la granulometría de la mezcla es suficientemente discontinua con un bajo nivel de asfalto, sencillamente no es posible producir una mezcla sin segregación, sin importar las técnicas utilizadas.

Las mezclas con granulometría discontinua se han utilizado con éxito en Inglaterra y otros países europeos. Sin embargo, estas mezclas frecuentemente incluyen fibras o polímeros, lo cual permite el uso de un mayor contenido de asfalto, haciendo que la película quede más espesa.

En muchos casos, un aumento ligero en el contenido de asfalto (por un margen tan bajo como 0.2%), reduce la segregación de la mezcla significativamente. El mayor espesor de la película amortigua el contacto de partícula a partícula y reduce la tendencia de separación en los puntos de transferencia a lo largo del proceso.

Las nuevas mezclas SMA (Stone Matrix Asphalt) y SuperPave que se usan en los E.U.A. tienen granulometría discontinua. Sin embargo, el añadir fibras y polímeros las hacen menos sensibles a la segregación.

Una línea de densidad máxima, puede usarse como guía para obtener una granulometría uniforme. Para confeccionar una gráfica con una línea de densidad máxima para las operaciones, se utiliza una gráfica de granulometría a la 0.45 de potencia de la FHWA (Federal Highway Administration), como se muestra en la Tabla 2.3.

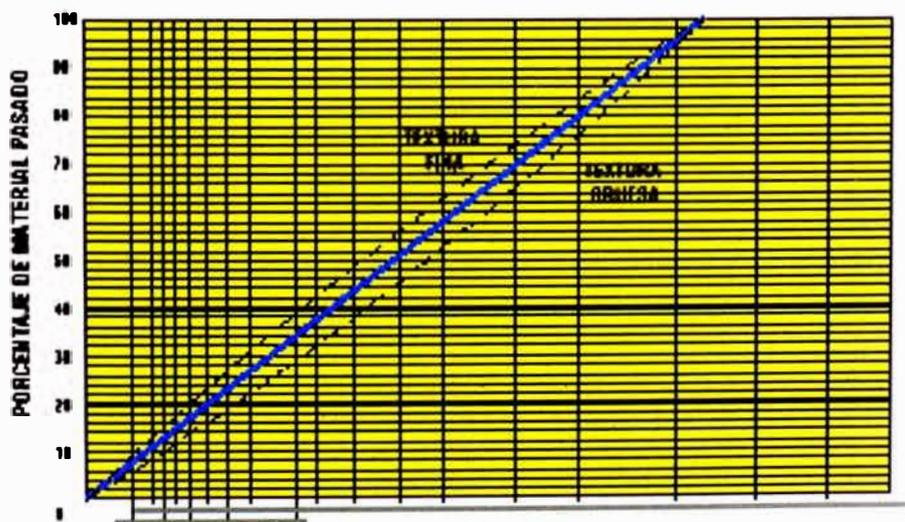


La escala horizontal representa los tamaños de criba elevados a la 0.45 potencia

Tabla 2.3 Línea de densidad máxima

El procedimiento consiste en dibujar una recta entre la esquina inferior izquierda de la gráfica y el punto que representa el porcentaje de la criba de tamaño más grande que retiene el material. La experiencia recomienda que no se debe producir mezclas con materiales cuyo tamaño cae directamente sobre la línea de densidad máxima. Frecuentemente no queda suficiente espacio en la mezcla para el asfalto líquido, y se produce una mezcla flexible. Otro problema se produce cuando el diseño de la mezcla acerca su densidad a la línea de densidad máxima.

Las variaciones en la granulometría de la mezcla de la pila de material hacen que la curva oscile hacia ambos lados de la línea de densidad máxima, causando granulometría discontinua en la mezcla. Se sugiere que el diseñador de la mezcla seleccione un grado de dos a cuatro por ciento mayor que el de la curva de densidad máxima si se desea una mezcla de textura fina. Se debe seleccionar un grado de dos a cuatro por ciento menor que el de la curva si desea una textura más gruesa. Como se indica en la Tabla 2.4. Estas curvas arqueadas hacia arriba o hacia abajo usualmente producen una mezcla buena y tolerante.



La escala horizontal representa los tamaños de criba elevados a la 0.45 potencia

Tabla 2.4 Selección de mezcla

Una mezcla cuya densidad está justo sobre la línea de densidad máxima pocas veces contiene suficientes Vacíos en el Agregado de Mineral (VAM), especialmente si el diseño contiene un porcentaje relativamente alto de material que pasa por una criba de 0.075 mm. Si se escoge un nivel de granulometría en una línea aproximadamente paralela a la línea de densidad máxima, se produce una mezcla de granulometría uniforme que resulta muy tolerante. Sin embargo, la línea de densidad máxima debe usarse solamente como una guía para obtener una granulometría uniforme.

Otros criterios, tales como los VAM, la estabilidad y otras especificaciones también deben cumplirse. Una mezcla cuya curva de diseño forma una "S" que atraviesa la línea de densidad máxima, como se muestra en la Tabla 2.5, puede causar problemas de segregación.

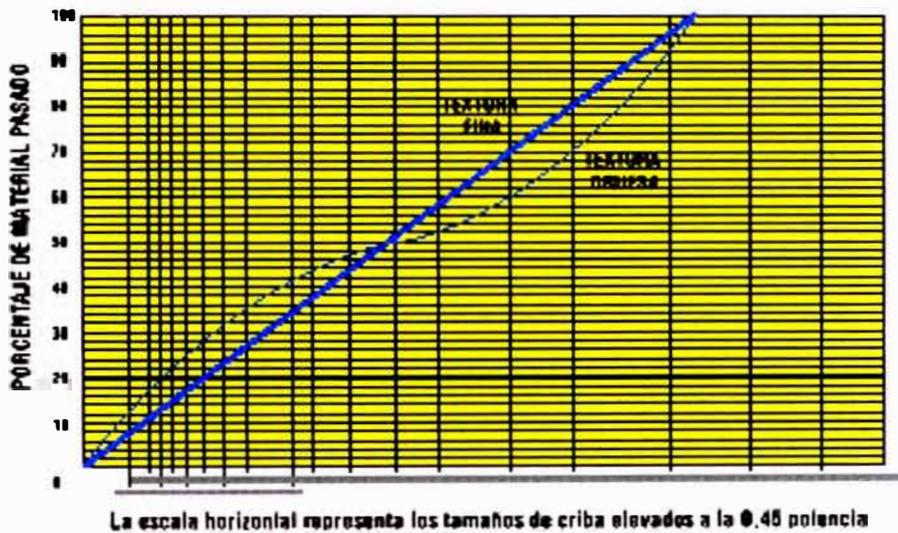


Tabla 2.5 Las curvas en "S" tienden a la segregación

La línea ligeramente curva que se ilustra en la Tabla 2.6 ofrece buenos resultados. Sin embargo, el posible beneficio que el diseñador intenta lograr al permitir la granulometría discontinua frecuentemente queda anulado por los problemas de segregación. Al graficar la granulometría de una mezcla, incluir puntos de tantos tamaños de criba como sea posible.

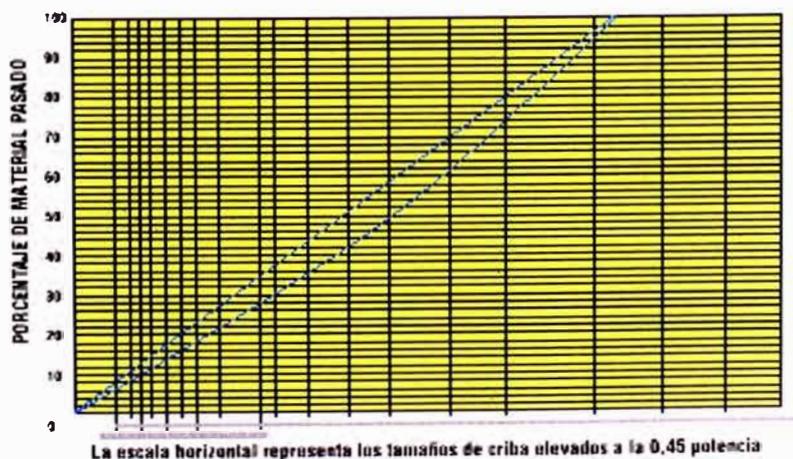


Tabla 2.6 Las líneas ligeramente curvas pueden ofrecer buenos resultados

La Tabla 2.7 muestra el hecho de que si se utiliza un número insuficiente de puntos para trazar la curva, se pueden obtener resultados incorrectos. Si sólo se usan 4 tamaños de criba para trazar la curva, como se ilustra en la indicada figura, se obtiene una curva que indica que la mezcla es “tolerante”. Pero si se usan 7 tamaños de criba para trazarla, lo cual también se ilustra en la misma Tabla, se observa fácilmente que la mezcla en realidad tiene granulometría discontinua.

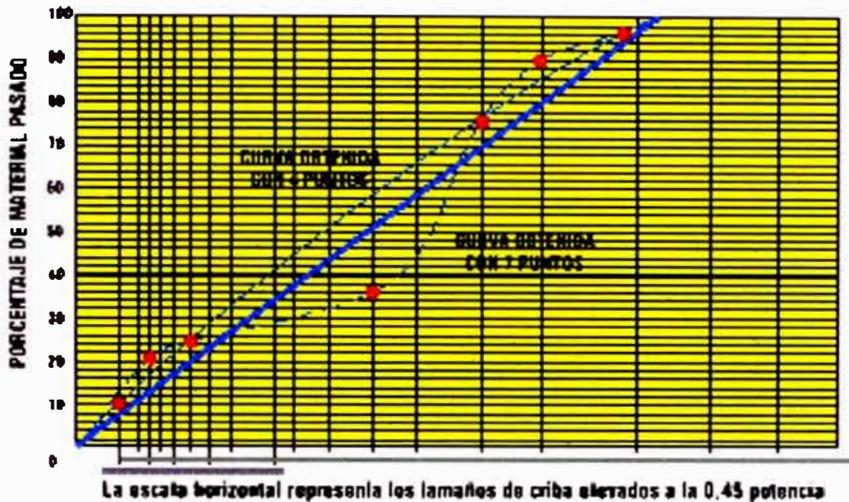


Tabla 2.7 *Trazado de la curva con 4 y 7 puntos para el diseño una Mezcla*

b) Formación de pilas de material

Es necesario usar técnicas correctas para formar las pilas de materiales para asegurarse que los materiales alimentados a la planta de mezcla caliente sean de tamaño uniforme. para tal efecto se usa una chancadora para agregados como la mostrada en la Foto 2.14.



Foto 2.14 *Chancadora de agregados producción 40 m³/h con tres salidas ubicada en La Victoria Cajamarca: Sr. Pastor Caro Responsable del MTC, Ing° Juan Carlos Ubillus e Ing° Hugo Miranda Tejada*

La Figura 2.15 muestra un ejemplo típico de una pila de material de agregado sencillo. En este ejemplo, la segregación se produce por el uso de un sistema de banda transportadora para formar la pila de material. Las partículas de mayor tamaño ruedan hacia el exterior de la pila, segregando así el material.



Figura 2.15 Segregación en una pila

En consecuencia, el material alimentado a la planta se encuentra segregado en los costados de la pila como se muestra en la Foto 2.16.



Foto 2.16 Segregación de los agregados en la pila ubicada La Victoria Cajamarca

Cuando se trabaja con agregados de tamaños más grandes, puede ser favorable usar dos tolvas de alimentación para agregados vírgenes o en frío para alimentar el mismo tipo de material.

Esta práctica tiende a reducir las variaciones amplias al alimentar cantidades más pequeñas de material desde dos puntos diferentes, aumentando las probabilidades de volver a mezclar el material.

En general, los materiales de tamaños diferentes se apilan por separado antes de alimentarlos a una planta de asfalto. Esto reduce la probabilidad de segregación, porque el material de cada pila tiene un tamaño más uniforme.

Sin embargo, la segregación puede producirse en agregados de tamaño más pequeño si existe una variación amplia en la granulometría. Las técnicas que se muestran en las Figuras 2.17 y 2.18 aseguran la uniformidad del material y reducen significativamente la segregación en la pila de material.

La operación de los tractores debe controlarse para asegurar que no se esté produciendo degradación alguna. El control es particularmente importante al tratar con agregados de materiales más blandos.



Figura 2.17 Formar varias pilas pequeñas

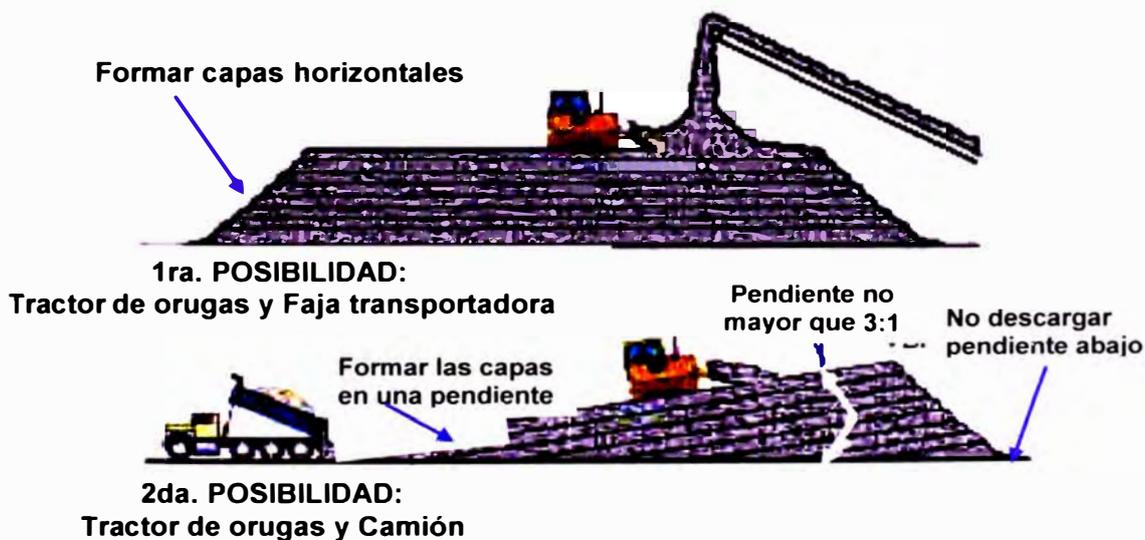


Figura 2.18 Formar y colocar los agregados en capas largas

La Publicación IS-69 de NAPA, Stock-Piling and Cold Feed For Quality (Formación de pilas y alimentación en frío para mejorar la calidad), proporciona buenos lineamientos para derivar técnicas apropiadas de formación de pilas de materiales.

Al tomar muestras de la pila de material para determinar las relaciones de tamaños de las tolvas de alimentación en frío, es importante tomar varias muestras y calcular el tamaño promedio como se muestra en la Tabla 2.8.

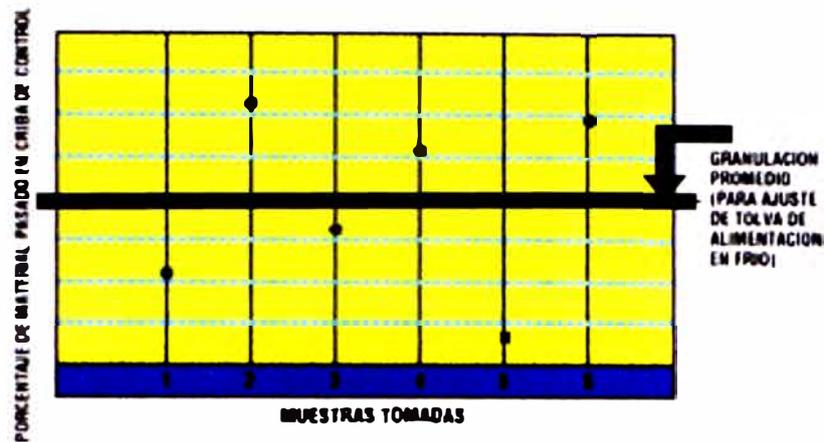


Tabla 2.8 Muestra de pila de material

c) Plantas de asfalto

La segregación puede producirse en varios puntos de una planta de mezcla de asfalto caliente. En las plantas mezcladoras de tambor, la segregación ocurre en un punto diferente al de una planta dosificadora. En una planta dosificadora, los puntos que requieren mayor atención son las tolvas de alimentación en frío y las tolvas calientes. En las plantas mezcladoras de tambor, las tolvas de compensación y de almacenamiento son los puntos que requieren mayor atención.

d) Tolvas de alimentación en frío

La segregación con alimentación en frío usualmente no es un problema a menos que el agregado contenga materiales de varios tamaños. La segregación no debe ocurrir cuando se usa agregado de un solo tamaño en cada tolva alimentadora, porque no hay materiales de tamaño diferente que puedan segregarse. Sin embargo, si se produce la obstrucción de material en la tolva Foto 2.19, ello resulta en una alimentación no uniforme y produce una mezcla segregada.

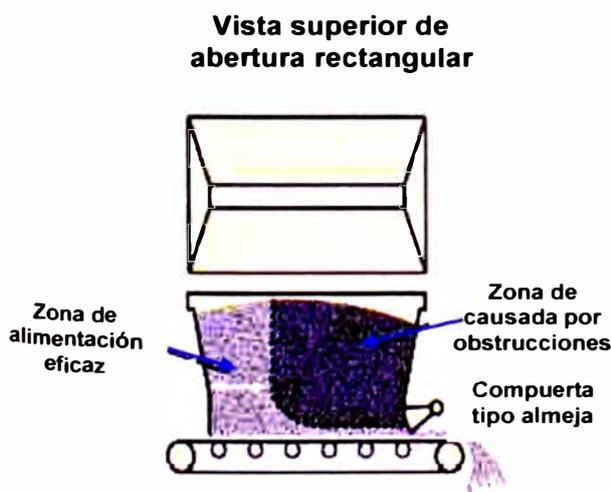


Foto 2.19 Tolva alimentadora de agregados en frío con apertura rectangular de la Planta de Asfalto CIBER ubicada en Cajamarca, Ing° Hugo Miranda Tejada, Sr. Pastor Caro Responsable del MTC e Ing° Juan Carlos Ubillus

Si se utiliza un fondo con aliviadero, como se ilustra en la Figura 2.20, se produce una alimentación uniforme de material por toda la abertura de la tolva de alimentación en frío, eliminando la segregación producida por obstrucciones.

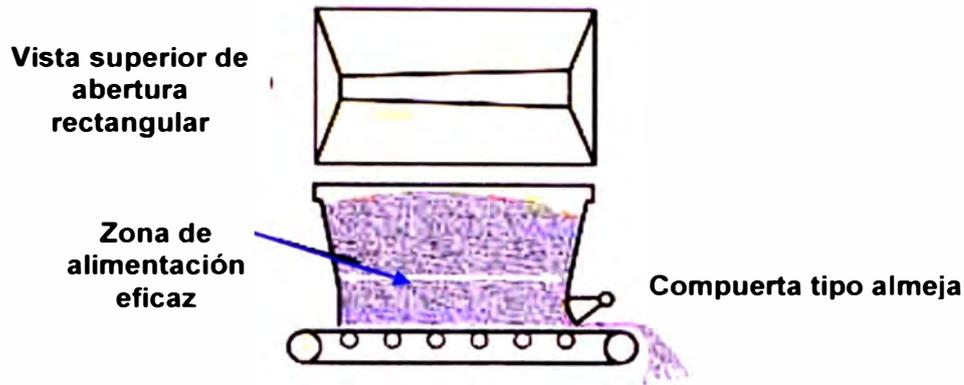


Figura 2.20 Tolva alimentadora de agregados en frío con aliviadero

e) Tolvas de mezcla asfáltica en caliente en una planta dosificadora o batch plant

Como se mencionó previamente, la segregación puede producirse en materiales de todo tamaño. La segregación ocurre frecuentemente en la primera tolva de mezcla asfáltica en caliente debido al tamaño y la forma de la tolva grande y la amplia variación del tamaño de los materiales que contiene.

La variación en el tamaño del material de la primera tolva es potencialmente mayor que en cualquier otra parte de la planta de asfalto debido a que el material varía desde un diámetro de 5 mm hasta un micrón.

Últimamente, algunos especialistas en asfalto han manifestado su preocupación en cuanto al retorno uniforme de polvo desde las cámaras de filtros hacia las plantas dosificadoras. En general, el material se recoge de modo uniforme en las cámaras de filtros y se retorna de modo uniforme. Pero el material puede estar segregando en la primera tolva. El material ultrafino que se descarga del elevador de cangilones puede caer directamente a través del tamiz y acumularse en una de las paredes inclinadas de la tolva como se muestra en la Figura 2.21.

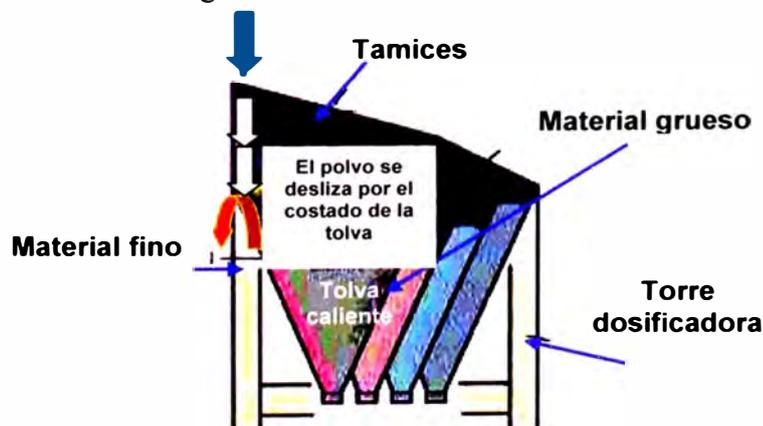


Figura 2.21 Segregación en la tolva de mezcla asfáltica en caliente de una batch plant

Puede permanecer allí hasta que la tolva esté casi vacía. En ese momento, un pelotón de polvo puede desprenderse y alimentarse a la tolva de pesaje, produciendo así una mezcla con material ultrafino que está segregado y no recubierto.

En muchos casos se pensó incorrectamente que la segregación en la tolva caliente se debía a una alimentación no uniforme del material proveniente de la cámara de filtros, lo cual llevó a la decisión de añadir equipos costosos e innecesarios. Sencillamente se había analizado el problema incorrectamente.

La solución correcta es instalar un deflector como se muestra en la Figura 2.22. El deflector hace que el polvo se deslice hacia el centro de la tolva, en donde se mezcla uniformemente con los materiales gruesos.

El mismo resultado puede lograrse usando un deflector para forzar el material grueso hacia la pared inclinada de la tolva. Allí éste puede mezclarse con el material fino. El método utilizado depende de la altura libre y el espacio disponible en las tolvas calientes.

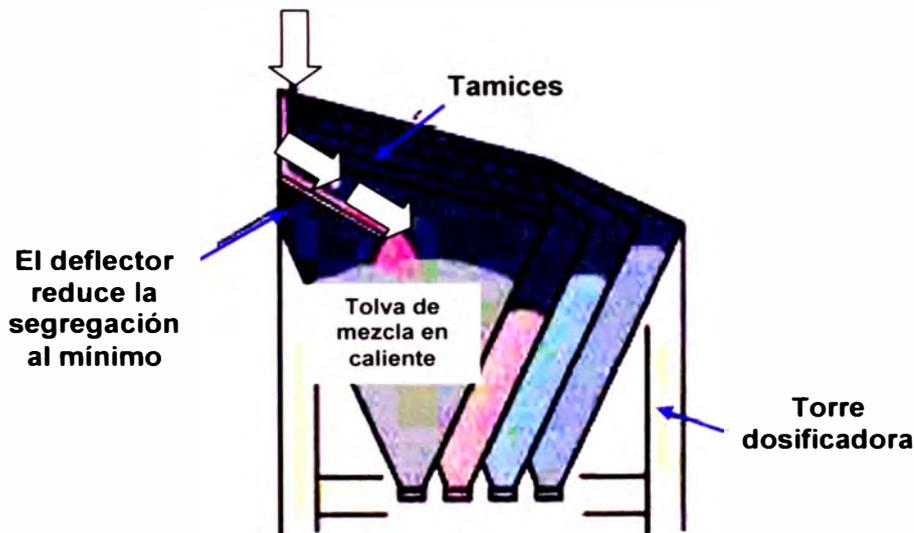


Figura 2.22 Tolva de mezcla en caliente con deflector

El uso de un soplador de polvo en la cámara de filtros y un receptor de polvo tipo ciclón correctamente ubicado en la primera tolva también es un método eficaz para eliminar la segregación en esta zona.

Sin embargo, muchos prefieren utilizar deflectores debido a los costos relativamente altos de mantenimiento de las cámaras neumáticas que manejan materiales abrasivos tales como el granito.

f) Secador mezclador

Las partículas de tamaño grande generalmente fluyen a través del secador mezclador a una velocidad ligeramente mayor que las partículas pequeñas durante el arranque inicial y la parada de la planta. Los efectos negativos relacionados con esta característica pueden eliminarse ajustando los intervalos de arranque/parada entre las tolvas de alimentación en frío.

Debido al proceso de flujo continuo que se produce después del arranque, esta característica no produce segregación. La probabilidad de segregación también tiene poco impacto a menos que el material tenga granulación discontinua.

Cuando se procesan mezclas con granulación discontinua en un secador mezclador, es más difícil lograr un recubrimiento completo con espesor uniforme.

Los materiales no recubiertos o recubiertos con una capa delgada se segregan con mayor facilidad. Tal tipo de segregación puede reducirse o eliminarse aplicando un recubrimiento mejor.

Esto se logra aumentando el tiempo de mezclado al extender la línea de asfalto a un punto más alto en el secador mezclador, como se muestra en la Figura 2.23.



Figura 2.23 Aumento del tiempo de mezclado en un secador mezclador

En los materiales difíciles de recubrir, se pueden usar paletas mezcladoras, como se ilustra en la Figura 2.23, o se puede instalar una represa (toroidal) en el tambor para aumentar el tiempo de mezclado como lo muestra la Figura 2.24.

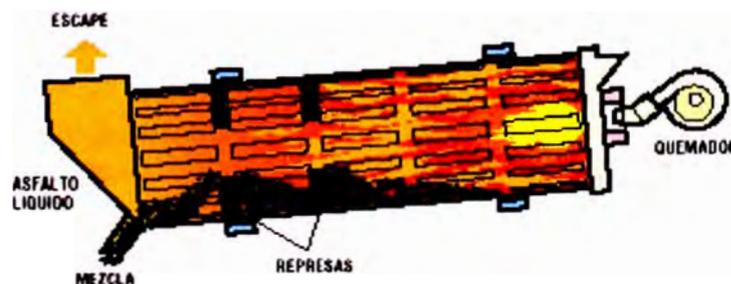


Figura 2.24 Las represas retardan el flujo en el secador mezclador

Otro método consiste en reducir la inclinación del tambor, lo cual aumenta el tiempo de reposo y permite un mezclado adicional. El aumento en el tiempo de reposo, ya sea debido a la instalación de represas o a la reducción de la pendiente del tambor, aumenta la carga del tambor. Esto puede reducir la tasa de producción si el motor impulsor del tambor es un factor limitante.

Un factor que frecuentemente se pasa por alto y que puede afectar significativamente la calidad del recubrimiento y el espesor de la película es la cantidad de material de

tamaño menor a 0.075 mm que contiene la mezcla. La calidad del recubrimiento se perjudica si la cantidad de material de tamaño menor a 0.075 mm excede las especificaciones o aun si está dentro de lo especificado, pero cerca del límite superior del margen de tolerancia.

Debido a la gran cantidad de superficie del material fino y a su afinidad con el asfalto líquido, el material grueso en la mezcla puede tener una película de espesor reducido, aunque parezca estar completamente recubierto. El espesor reducido de la película cambia las características dinámicas del material grueso y aumenta su tendencia a segregarse. El reducir la cantidad de material de tamaño menor a 0.075 mm cerca del límite inferior del margen de tolerancia aceptable usualmente corrige este problema.

Además, así es más fácil producir una mezcla uniforme y manipular la mezcla en las operaciones de transporte y de vaciado de la misma. El recubrimiento de las piedras grandes también puede verse afectado por la humedad interna y la absorción. Cuando existe humedad interna en el agregado de tamaño grande, su temperatura tiende a ser un tanto más fría que la de los materiales finos. Las piedras más frías no se recubren hasta que se haya expulsado la humedad y uniforme y comparable con la del resto de la mezcla. La humedad interna puede eliminarse aumentando los tiempos de secado y de mezclado, usando los métodos más conocidos para el funcionamiento del tambor mezclador.

Los problemas de absorción de asfalto están relacionados con los problemas de humedad interna. Esto se debe a que los mismos poros de la piedra que contenían humedad absorben una porción del asfalto disponible. Esta absorción reduce el espesor eficaz de la película aplicada a las superficies exteriores. Si se sospecha que la absorción está ocurriendo, romper varias piedras grandes y examinarlas con una lupa. Si existe una franja oscura cuyo espesor varía desde unas fracciones de milímetro hasta unos 8 mm, medido desde la superficie hacia el interior, ello indica que se está produciendo absorción. La solución para poder obtener una película del espesor deseado consiste en aumentar el contenido de asfalto para compensar la cantidad perdida por la absorción.

La mezcla descargada de los tambores por efecto de gravedad es más sensible que la mezcla descargada de los tambores con elevación alta, en donde el material hace un viraje de 90 grados antes de ser descargado. En la descarga por gravedad, el material grueso frecuentemente se descarga hacia un lado y el material fino hacia otro. El material segregado cae directamente sobre un transportador de arrastre y continúa segregándose hasta llegar al dosificador y la tolva, como se muestra en la Figura 2.25.



Figura 2.25 Las represas retardan el flujo en el secador mezclador

El problema puede aliviarse restringiendo la abertura del tubo de descarga a un tamaño más pequeño para forzar la mezcla hacia el centro del transportador de arrastre. El añadir placas deflectoras o paletas de enderezado también es un medio eficaz de asegurarse que el transportador de arrastre quede debidamente cargado cuando se usa descarga por gravedad mostrada en la Figura 2.26.

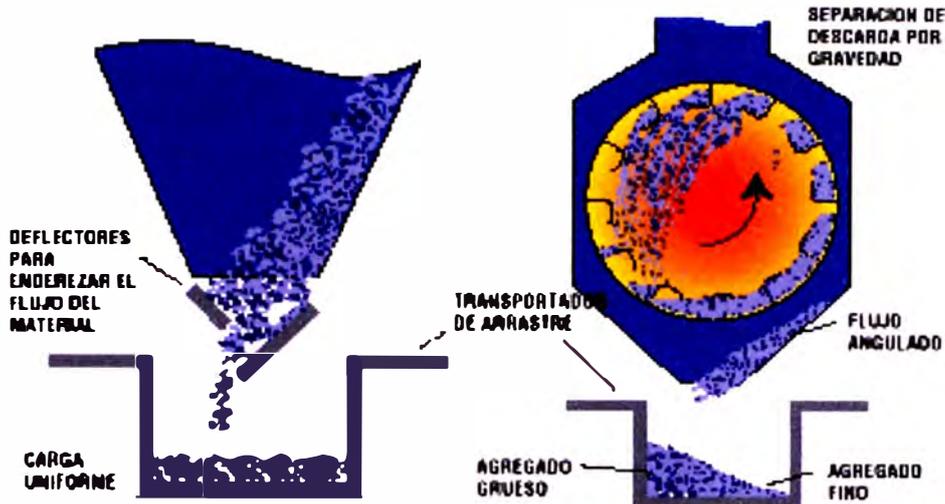


Figura 2.26 Descarga por gravedad

Otra solución consiste en instalar una cuchilla o punto único de descarga en el tambor como se muestra en la Figura 2.27, lo cual fuerza la salida de toda la mezcla por un solo punto. Sin embargo, la experiencia demuestra que es difícil diseñar e instalar un punto único de descarga de funcionamiento eficaz en la mayor parte de los secadores mezcladores. Siempre que sea posible, lo mejor es fijar el transportador de arrastre a un ángulo de 90 grados respecto al punto de descarga del tambor para crear un ángulo recto en el flujo de los materiales. Esto reduce o elimina la segregación en el punto de descarga del tambor.

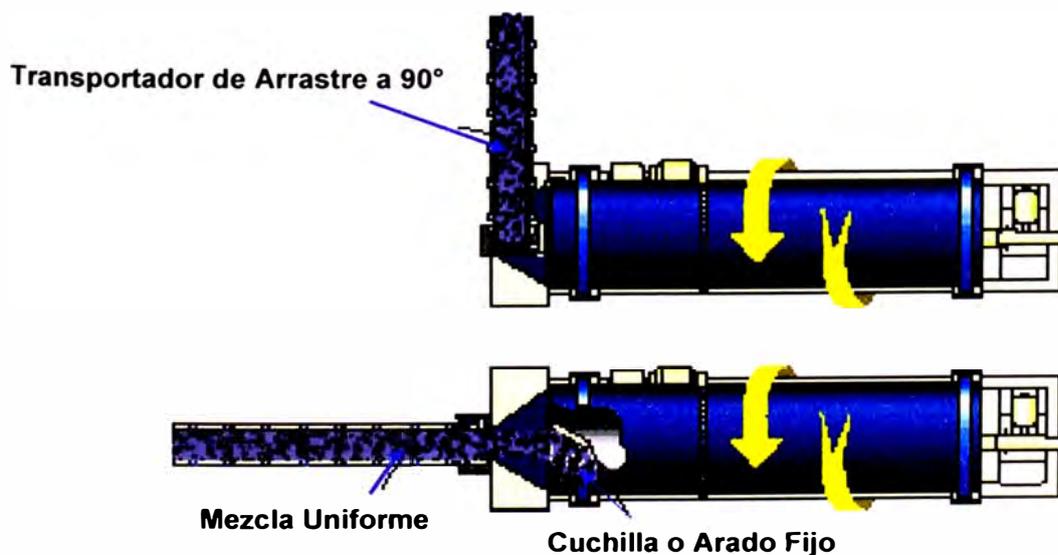


Figura 2.27 Descarga por gravedad

g) Tolvas de compensación y almacenamiento

g.1. Transportadores de arrastre.- La segregación usualmente no ocurre en un transportador de arrastre a menos que el mismo esté “hidroplaneando”. El hidroplaneado se produce como resultado de la acumulación de materiales en la parte inferior del transportador de arrastre.

Los transportadores en frío que carecen de sujetadores flotantes son susceptibles a las acumulaciones en sus forros inferiores. La acumulación crea una superficie de arrastre de alta fricción que hace que el material se derrame en sentido opuesto al de avance sobre las paletas de arrastre, como se muestra en la Figura 2.28, aun si la tasa de producción es muy baja. Esta condición puede observarse fácilmente. El material cae en sentido opuesto por el transportador de arrastre en lugar de moverse de modo uniforme como una sola masa llena de materiales entre una paleta y la siguiente.

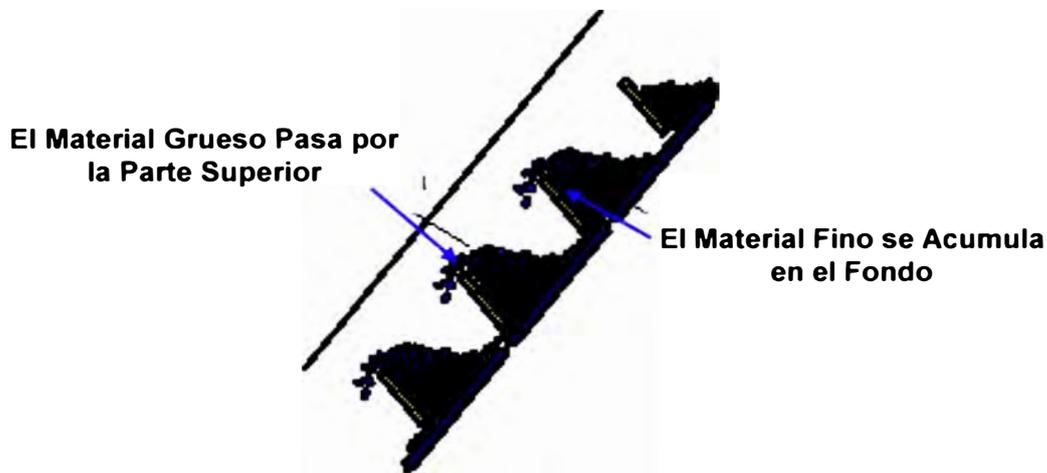


Figura 2.28 *Hidroplaneado de un transportador de arrastre*

Cuando el transportador de arrastre está hidroplaneando, se produce una cantidad significativa de segregación, especialmente al inicio y final de cada tarea. El hidroplaneado es más frecuente en las plantas dosificadoras, en las cuales el grado de segregación se mantiene de una mezcla a la siguiente. Los transportadores de arrastre deben estar equipados con sujetadores flotantes y fondos calentados para el arranque en frío.

La segregación se reduce al mínimo cuando el transportador de arrastre está lo más lleno posible. Cuando sus paletas sólo se llenan parcialmente, el agregado de mayor tamaño puede rodar hacia los bordes del transportador de arrastre.

Por ello es mejor trabajar con tasas de producción más altas para mantener el transportador de arrastre lleno. Si la tasa de producción es mayor que la usada en las operaciones de pavimentación, almacenar la mezcla adicional y parar la producción un poco antes que lo normal.

g.2. Tolvas de almacenamiento.-La zona más susceptible a la segregación en una planta de mezcla caliente es la de las tolvas de compensación y de almacenamiento. El tamaño grande de las tolvas contribuye a los problemas de segregación. Ya que las primeras tolvas de compensación y de almacenamiento se desarrollaron hace muchos años, se han introducido mejoras considerables en los equipos de tolvas para evitar la segregación.

Uno de los estudios más detallados y completos sobre la segregación en tolvas de compensación y almacenamiento de mezcla caliente se llevó a cabo en la Universidad de Texas, en los primeros años de la década de los años 1,970. A partir de esta investigación se han desarrollado diversas técnicas para eliminar la segregación. El resultado de este estudio básicamente reveló dos dispositivos eficaces para eliminar la segregación en las tolvas de compensación y de almacenamiento. Uno de ellos es la inclusión de un dosificador de carga en la parte superior de la tolva, como se muestra en la Figura 2.29.



Figura 2.29 Dosificador de carga de tolva

El otro es la instalación de un tubo de descarga giratorio en la parte superior de la tolva, como se muestra en la Figura 2.30. Ambos dispositivos proporcionan una carga uniforme de la mezcla. El estudio también discute diversos tipos de abertura de compuerta y demuestra que algunas configuraciones de compuerta trabajan mejor que otras.



Figura 2.30 Tubo giratorio para carga de tolva

Pero el estudio confirma que si la tolva se carga correctamente con mezcla uniforme, la configuración de la compuerta no tiene importancia significativa. Sin embargo, el uso de dosificadores y tubos de descarga giratorios no es una “solución universal”. Estos dispositivos pueden generar sus propios problemas, por lo cual lo mejor es comprender las causas por las cuales se generan los problemas.

g.3. Tubo de descarga giratorio.-Es esencial que un tubo de descarga giratorio gire, y que el material descargado caiga directamente hacia abajo, como se muestra en la Figura 2.31.



Figura 2.31 Tubo de descarga giratorio

Como se ilustra en la Figura 2.32, el uso del tubo de descarga va desgastando su boca, lo cual permite una segregación considerable debido a que la mezcla se va pegando a la pared exterior de la tolva.

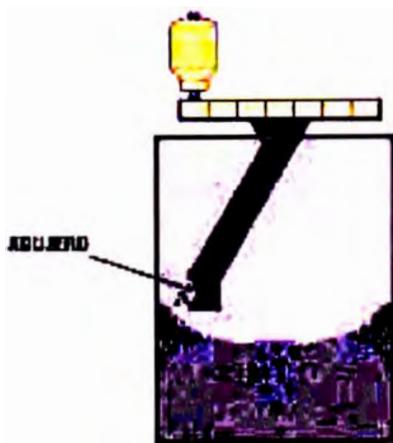


Figura 2.32 Tubo de Descarga Giratorio Desgastado

Esto fuerza el material más grueso hacia el centro de la tolva y el material más fino hacia el exterior. Se debe cuidar que la porción vertical del tubo de descarga sea suficientemente larga para forzar la caída vertical del material e impedir que el mismo sea lanzado en forma horizontal.

Las mezclas de diferentes tipos se descargan de modo diferente por el tubo de descarga. El sólo observar la configuración del tubo de descarga no es suficiente, puesto que el material puede descargarse de modo diferente al anticipado. Siempre se debe observar el material cuando está siendo descargado hacia la tolva para evaluar un problema de segregación.

g.4. Dosificadores de carga de tolva.- Posiblemente el dispositivo más popular para eliminar la segregación en las tolvas de compensación o de almacenamiento es el uso de dosificadores de carga de tolva. Las siguientes observaciones y prácticas deben efectuarse al utilizar un dosificador:

- El dosificador deberá tener una capacidad de por lo menos 2,300 kg y tener una abertura relativamente grande en su compuerta para asegurar una descarga rápida de materiales hacia la tolva de almacenamiento.
- El dosificador debe cargarse directamente en su parte central y el material que proviene del tubo para cargar el dosificador no debe viajar en trayectoria horizontal como lo muestra las Figuras 2.33 y 2.34. Además, cuando la mezcla se descarga a través de un tubo de descarga, si éste tiene una abertura pequeña se reduce la segregación al mínimo indicada en la Figura 2.35. Recuerde, si el material se segrega en el dosificador, quedará segregado en toda la tolva.

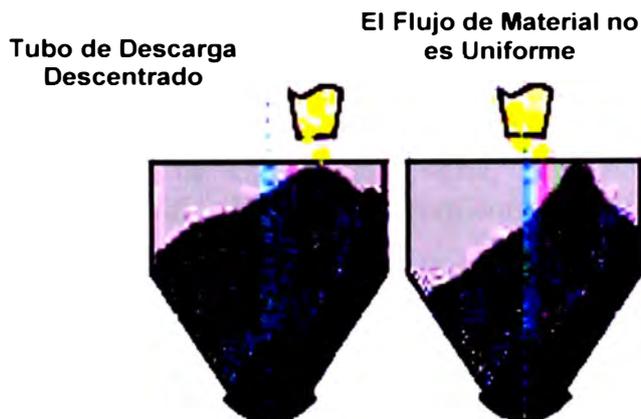


Figura 2.33 Tubo de descarga que causan flujo no satisfactorio del material

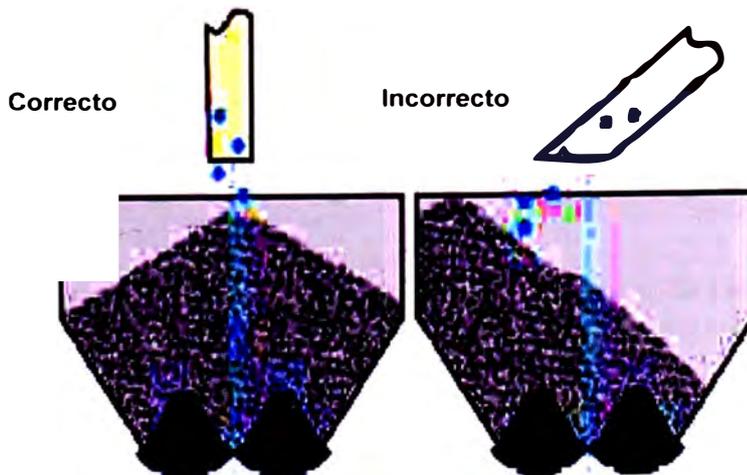


Figura 2.34 Carga del dosificador

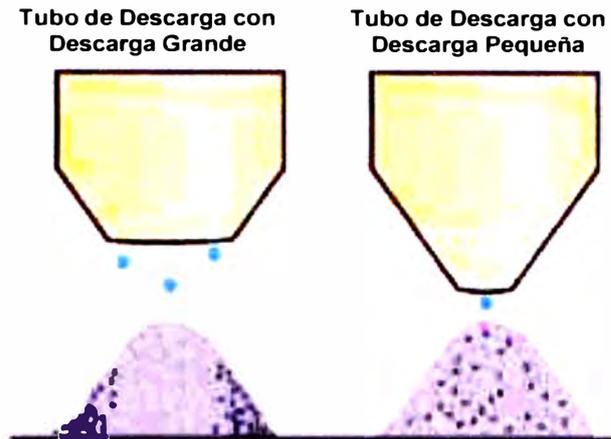


Figura 2.35 Menor segregación si el tubo de descarga tiene una abertura más pequeña

- El dosificador debe llenarse por completo antes de descargarse. Normalmente se usan dos indicadores de nivel de la tolva. Uno abre las compuertas y el otro sirve para asegurar que las compuertas se abran en caso que el primer indicador falle. Si las compuertas del dosificador no se abren, la mezcla se atora en el transportador de arrastre hasta llegar al tambor. Esta posibilidad hace que algunos operadores dejen las compuertas siempre abiertas, lo cual anula el propósito del dosificador. De ser posible, no se deben usar cronómetros en los dosificadores, salvo para controlar el tiempo de apertura de las compuertas. La tasa de producción de cada planta varía, pero no se deben usar tiempos diferentes en los dosificadores, salvo para controlar el tiempo de apertura de las compuertas.
- La tasa de producción de cada planta varía, y se necesitan intervalos diferentes para llenar el dosificador. Es esencial que el dosificador se llene en cada ciclo para descargar una masa de tamaño adecuado en la tolva.
- El dosificador nunca debe vaciarse por completo. El tiempo de apertura de la compuerta debe ajustarse de modo que una pequeña cantidad de material (aproximadamente 15 cm) permanezca en el dosificador una vez que se completa el ciclo de descarga. Si la compuerta permanece abierta por un tiempo muy largo, el material nuevo atraviesa el dosificador y cae directamente en la tolva, segregándose al azar.
- Cuando se usa un dosificador para cargar la tolva, mientras más vacía se encuentre la tolva, mayor es la altura de caída del material y resulta más probable obtener una carga uniforme y nivelada como lo muestra la Figura 2.36.

El peor caso que puede suceder en el uso de un dosificador de carga ocurre cuando el nivel de material contenido por la tolva está consistentemente cerca de la parte superior tal como lo muestra la Figura 2.37.

La mezcla descargada no tiene suficiente fuerza y se produce picos de material, en lugar de distribuirlo para formar una superficie nivelada. Las reglas de uso correcto de un dosificador se resumen en la Tabla 2.9.

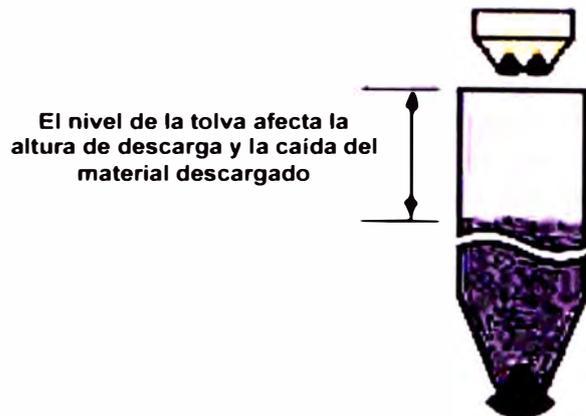


Figura 2.36 Dosificador de carga de tolva

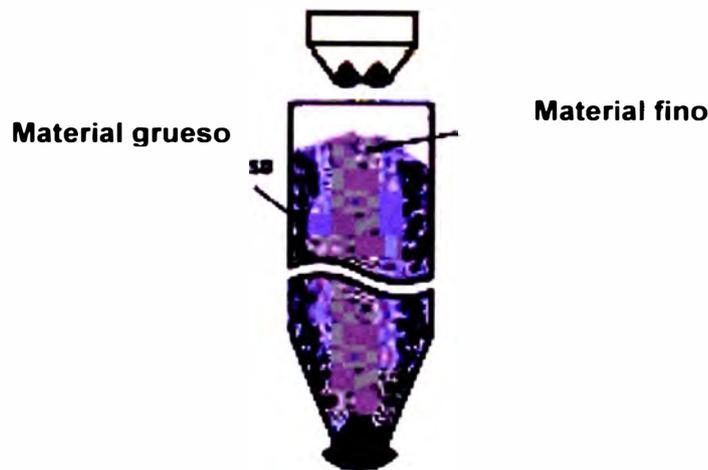


Figura 2.37 Tolva excesivamente llena

Nº	DESCRIPCIÓN
1	El dosificador deberá tener una capacidad de por lo menos 2,300 kg.
2	El dosificador debe cargarse en su parte central.
3	El material debe fluir verticalmente hacia el dosificador. (sin trayectoria horizontal).
4	Los cronómetros de la compuerta del dosificador deben ajustarse de modo que la compuerta se cierre cuando queden 15 cm – 20 cm de material en el dosificador. no permitir que el material pase el dosificador libremente.
5	Mantener el dosificador de modo que la mezcla se descargue rápidamente como una sola masa.
6	No mantener el nivel invariablemente en la parte superior

Tabla 2.9 Regla de uso de dosificadores

g.5. Descarga de tolvas de compensación y de almacenamiento.-Si la tolva de compensación o de almacenamiento está uniformemente llena, la descarga de la mezcla de asfalto caliente de la tolva no es asunto de mucha importancia. La extracción de material por debajo del cono no es tan susceptible a los problemas como lo eran las antiguas tolvas de carga central. Esto se debe en parte a la mejora en la carga de las tolvas por medio del uso de dosificadores y tubos de descarga giratorios, pero resulta primordialmente del uso de conos con ángulos agudos, los cuales producen un flujo uniforme del material de la tolva. En la mayoría de los materiales con granulometría continua, la tolva puede vaciarse sin producir segregación significativa. Sin embargo, si el material tiene granulometría discontinua, no debe permitirse que el nivel de la tolva baje por debajo del cono.

La descarga rápida por la compuerta del silo ayuda a eliminar la segregación en los camiones. Esto reduce la probabilidad de que se produzca segregación en la caja del camión, puesto que se reduce la acción de rodamiento de la mezcla cuando ésta fluye hacia la caja del camión.

En clima frío, las tolvas deben aislarse, por lo menos en sus conos. Las superficies frías pueden hacer que la mezcla se pegue al cono. Bajo estas condiciones, el material puede obstruir el flujo en lugar de descargarse de modo uniforme.

h) Carga y descarga de camiones

Debido a la carga rápida del camión debajo de las tolvas de compensación o de almacenamiento, los conductores frecuentemente tienden a detener el camión debajo de la tolva y no moverlo durante la carga. Si la mezcla es sensible a la segregación, las piedras más grandes rodarán hacia las partes delantera, trasera y laterales del camión, haciendo que los materiales gruesos sean los primeros y los últimos en descargarse de la caja del camión. Los materiales gruesos en las partes laterales luego se atorán en las secciones laterales de la pavimentadora y se descargan entre uno y otro viaje del camión. Este tipo de descarga produce zonas gruesas de pavimento entre una carga del camión y la siguiente. Este tipo de carga se muestra en la Figura 2.38.



Figura 2.38 Carga incorrecta del camión

Al cargar el camión en tres etapas diferentes de descarga, la primera cerca de la parte delantera de la caja del camión, la segunda cerca de la compuerta trasera y la última en su parte central, el material grueso es forzado a rodar hacia el centro del camión para luego quedar cubierto como se ilustra en la Figura 2.39. Esto asegura que el primer material descargado por el camión será material de buena calidad con el material grueso combinado en su parte central.



Figura 2.39 *Carga incorrecta del camión*

Las tolvas equipadas con dosificadores de pesaje, como se ilustra en la Figura 2.40, tienden a descargar el material directamente hacia los camiones de modo similar a los dosificadores de carga de tolvas. El dosificador de pesaje, si está bien diseñado, en gran manera asegura que el camión quedará uniformemente cargado y mejora la probabilidad de evitar la segregación de una mezcla sensible a ello.



Figura 2.40 *Tolva con dosificador de pesaje*

Al descargar el camión en la tolva de la pavimentadora, es importante descargar el material como una sola masa, en lugar de poco a poco. Para lograr esto, el piso de la caja del camión debe estar en buenas condiciones y lubricado, de modo que toda la carga se deslice hacia atrás.

Para asegurarse que el material se descargue como una sola masa, elevar la caja del camión a un ángulo pronunciado con la mayor precaución según lo muestra la Figura 2.41.

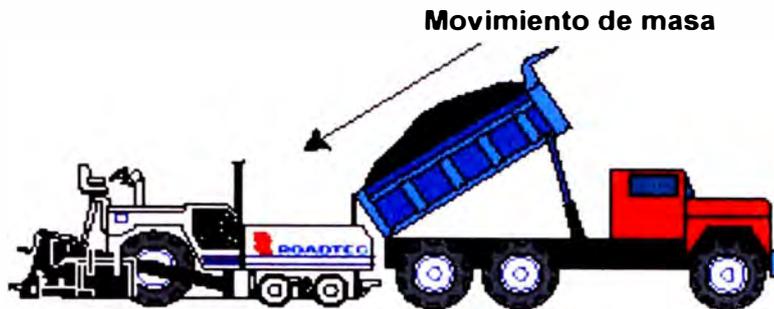


Figura 2.41 Cuando el ángulo de descarga es considerable entonces se asegura que la descarga sea completa en masa

La descarga rápida de materiales del camión llena la tolva de la pavimentadora y reduce al mínimo el escurrimiento del material que frecuentemente se produce en la compuerta posterior del camión. La descarga rápida evita la acumulación de los materiales gruesos en la porción exterior de las secciones laterales de la pavimentadora.

Cuando se usan mezclas sensibles, con frecuencia es necesario modificar la parte delantera de la caja del camión para eliminar los efectos indeseados causados por la caja del cilindro hidráulico. Si la mezcla tiende a segregarse, se puede producir la agrupación de materiales gruesos cuando la mezcla se desliza alejándose de la caja del cilindro.

Cuando la carga se mueve hacia atrás, la mezcla se desplaza y obliga la acumulación de piedras grandes en el centro de la caja y en la parte delantera del camión como lo muestra la Figura 2.42. Luego, cuando la carga se mueve hacia la pavimentadora, se produce segregación de “fin de carga”. El colocar una plancha de madera o de metal delgado a lo ancho de la parte delantera de la caja del camión usualmente elimina este problema.

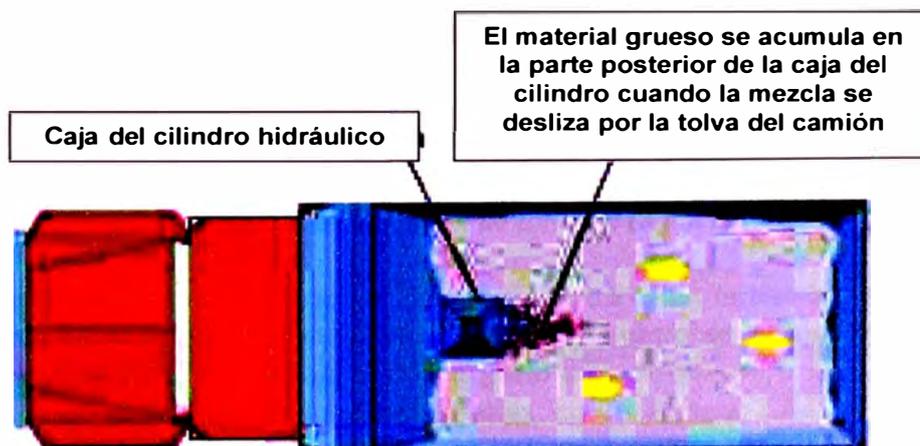


Figura 2.42 En el contorno del cilindro hidráulico se genera segregación de “fin de carga”

i) Pavimentadora

Aun cuando se haya procesado material con éxito por la tolva de alimentación en frío, a través de la planta, a través de las tolvas de compensación o de almacenamiento, y el mismo se carga de modo uniforme en el camión, todavía es posible que se produzca segregación en la pavimentadora.

El uso incorrecto de la pavimentadora puede causar diversos grados de segregación. A continuación se ofrecen sugerencias que deben tomarse en cuenta si se produce segregación en la pavimentadora:

- No vaciar la tolva completamente entre una carga del camión y la siguiente. El material grueso tiende a rodar hacia cada lado de la caja del camión y por ello rueda directamente hacia las secciones laterales de la tolva. Al dejar cierta cantidad de material en la tolva, el material grueso tiene mayor probabilidad de mezclarse con el material fino antes de ser vaciado sobre el pavimento.
- Descargar las secciones laterales de la tolva sólo según sea necesario para nivelar la carga de material en la tolva. La descarga elimina las hendiduras ("valles") en el material, reduciendo al mínimo la rodadura del material durante la descarga. Esto permite que la compuerta trasera del camión se abra completamente para llenar la tolva con la carga según lo presenta la Figura 2.43.

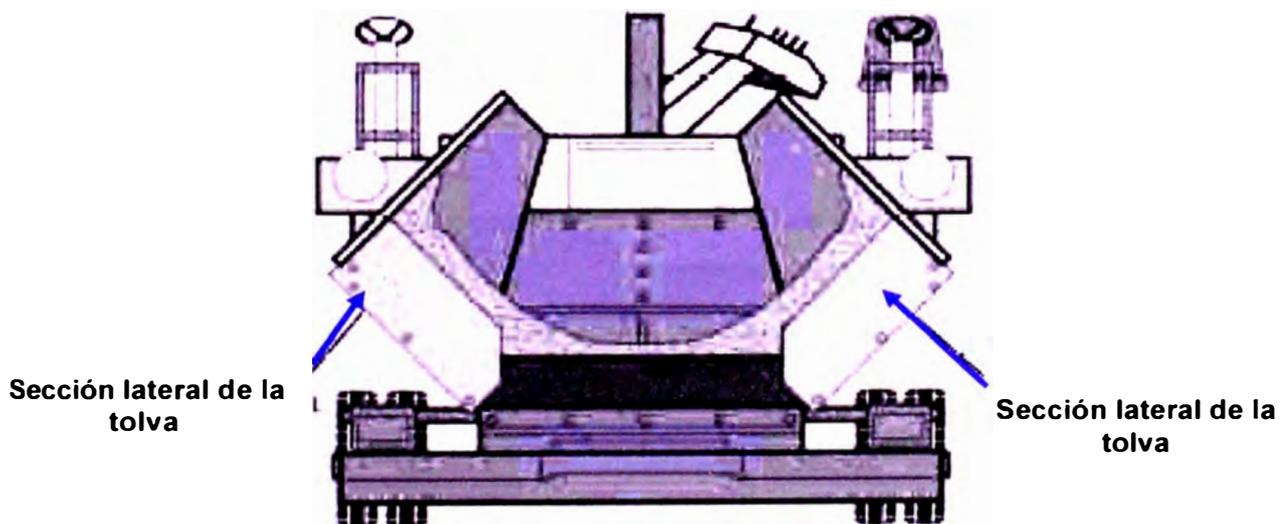


Figura 2.43 Secciones laterales de tolva de la pavimentadora

- Descargar el camión de manera que se cargue la tolva de la pavimentadora. Con la tolva lo más llena posible, el material tiende a salir junto de debajo del camión y se reduce la tendencia a la rodadura al descargarlo en la tolva.
- Abrir las compuertas de la tolva mostradas en la Figura 2.44 hasta donde sea posible para asegurarse que los sinfines se colmen. Si se cierran las compuertas y se alimentan los sinfines con una cantidad insuficiente de mezcla, el material más fino caerá directamente sobre el suelo, haciendo que los sinfines transporten el material más grueso hacia los lados.

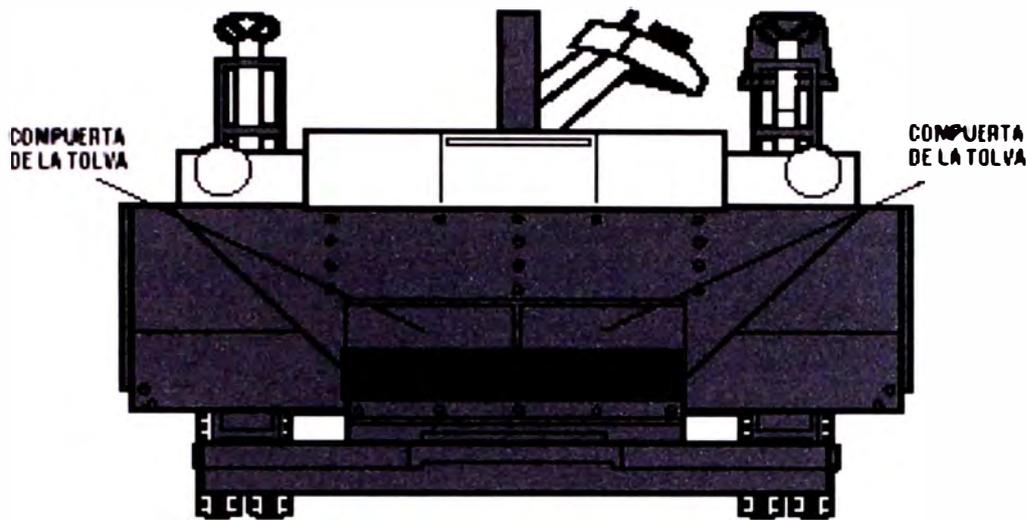


Figura 2.44 Compuertas de tolva de la pavimentadora

- Hacer funcionar la pavimentadora del modo más continuo posible. Arránquela y párela sólo según sea necesario. Ajuste la velocidad de la pavimentadora de modo correspondiente a la tasa de producción de la planta.
- Hacer funcionar los sinfines de modo continuo. La velocidad de los sinfines debe ajustarse de modo que se obtenga un flujo continuo y lento de material. Los sinfines que funcionan a velocidades altas tienen que arrancarse y pararse continuamente, lo cual contribuye a la segregación en la pavimentadora de diseño convencional como lo muestra la Figura 2.45.

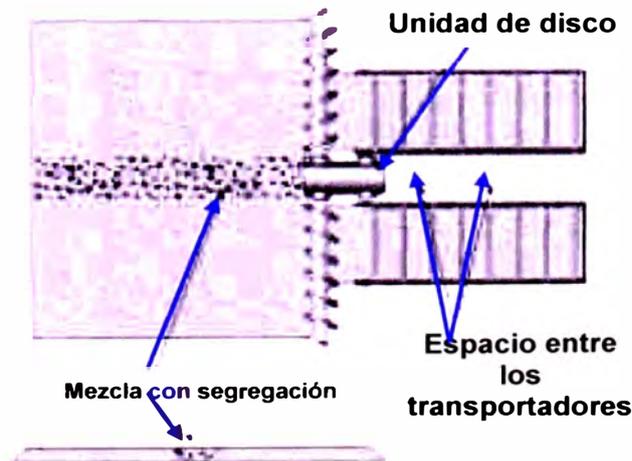


Figura 2.45 Diseño convencional de la pavimentadora

- Si los sinfines funcionan a velocidad excesiva, el centro del pavimento tendrá deficiencia de material, lo cual generalmente produce un pavimento áspero. La instalación de deflectores, como se ilustra en la Figura 2.46, también evita que los materiales gruesos rueden delante de la caja de engranajes de sinfines y que causen

segregación por la línea central. Si se instalan los deflectores, los sinfines desvían el material de modo uniforme hacia el centro.

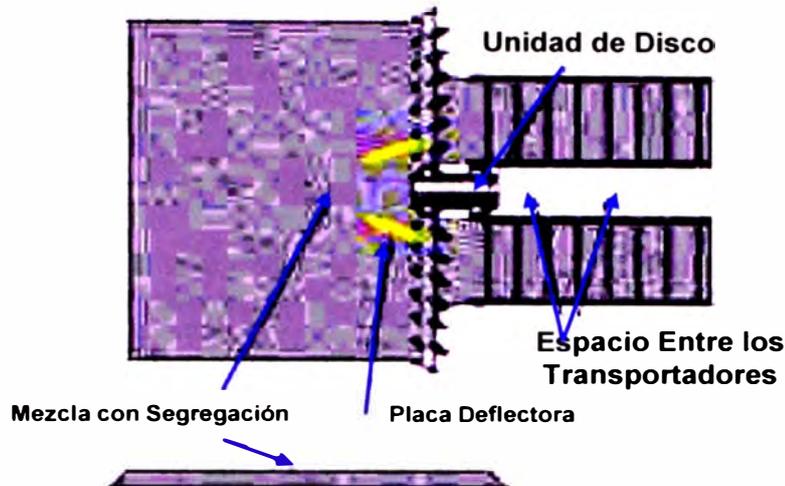


Figura 2.46 *Diseño convencional de pavimentadora con deflectores*

La Figura 2.47 también ilustra dos modificaciones importantes hechas a las pavimentadoras más modernas con el propósito de reducir la segregación y eliminar la necesidad de instalar deflectores:

1. El espacio entre las cadenas en el centro de la tolva es menor.
2. Las ruedas dentadas de las cadenas ahora están más cerca a los sinfines.

Las Cabezas de la rueda dentada de la cadena de arrastre están más cerca del eje central o barrena

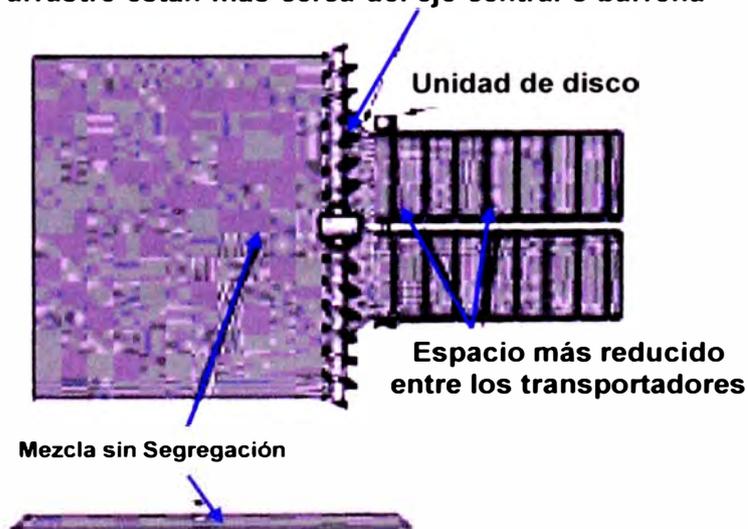


Figura 2.47 *Diseño convencional de pavimentadora con deflectores*

- Si los bordes exteriores de los sinfines de la pavimentadora tienen una cantidad insuficiente de material, se pueden producir franjas ásperas por los bordes exteriores del pavimento puesto que el agregado grueso rueda hacia el exterior.

- De ser posible, ajustar las extensiones de la pavimentadora de manera que ésta extraiga la misma cantidad de materiales por ambos lados de la tolva. Si un lado extrae más material que el otro, se formará un vacío en ese lado de la tolva de la pavimentadora, permitiendo la segregación de mezclas sensibles a ello. Si no es posible corregir esta condición ajustando la extensión, descentrar el camión ligeramente hacia el lado que requiera más material para emparejar el material en la tolva.

j) Vehículo de transferencia de materiales Shuttle Buggy

La dificultad de descargar la mezcla del camión a la pavimentadora mientras ésta se mueve de modo continuo debe ser evidente por lo expuesto en la descripción anterior. La Foto 2.48 ilustra un Vehículo de Transferencia de Mezcla (VTM) Shuttle Buggy que permite al camión detenerse a una distancia apropiada delante de la pavimentadora y descargar toda su carga sin moverse. El VTM tiene una capacidad de 30 a 35 toneladas de mezcla.



Foto 2.48 Vehículo de transferencia de mezcla o Shuttle Buggy de ROADTEC

El transportador de arrastre en la parte delantera del VTM es suficientemente ancho para aceptar el ancho de la mezcla descargada del camión (sin interrupciones) y transportarla hacia la tolva del VTM. Dos sinfines de paso variable en la parte inferior de la tolva vuelven a mezclar el material a medida que el mismo viaja hacia el transportador de descarga trasera.

Este transportador lleva la mezcla hacia la parte superior y trasera de la tolva. El transportador de descarga trasera entonces lleva el material hacia un transportador giratorio trasero.

La pavimentadora tiene también una tolva que permite almacenar aproximadamente 20 toneladas de material. El transportador giratorio del VTM llena la tolva por la parte superior. La Figura 2.49 muestra a un VTM cargando la pavimentadora desde una línea adyacente. Este nuevo concepto permite a la pavimentadora funcionar de modo continuo, vuelve a mezclar el material y permite el uso de camiones de remolque grandes.

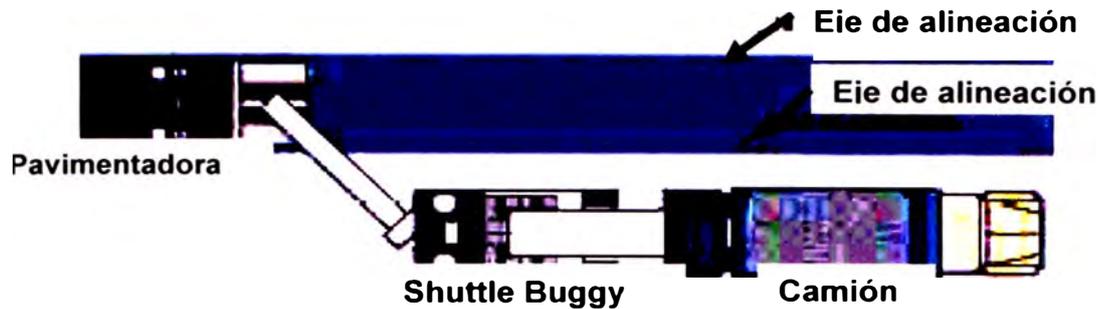


Figura 2.49 Operación del vehículo de transferencia de mezcla Shuttle Buggy en el carril adyacente

Además, la tolva de almacenamiento de la pavimentadora elimina la acumulación de material grueso en las secciones laterales. La acumulación de material grueso y la descarga de las secciones laterales es una de las causas principales de segregación de fin de carga.

Estas máquinas han demostrado tener la capacidad de eliminar completamente la segregación de fin de carga y aleatoria debida a la remezcla del material por los sinfines mostrados en la Figura 2.50. La uniformidad resultante excede los resultados previamente obtenidos de modo consistente.

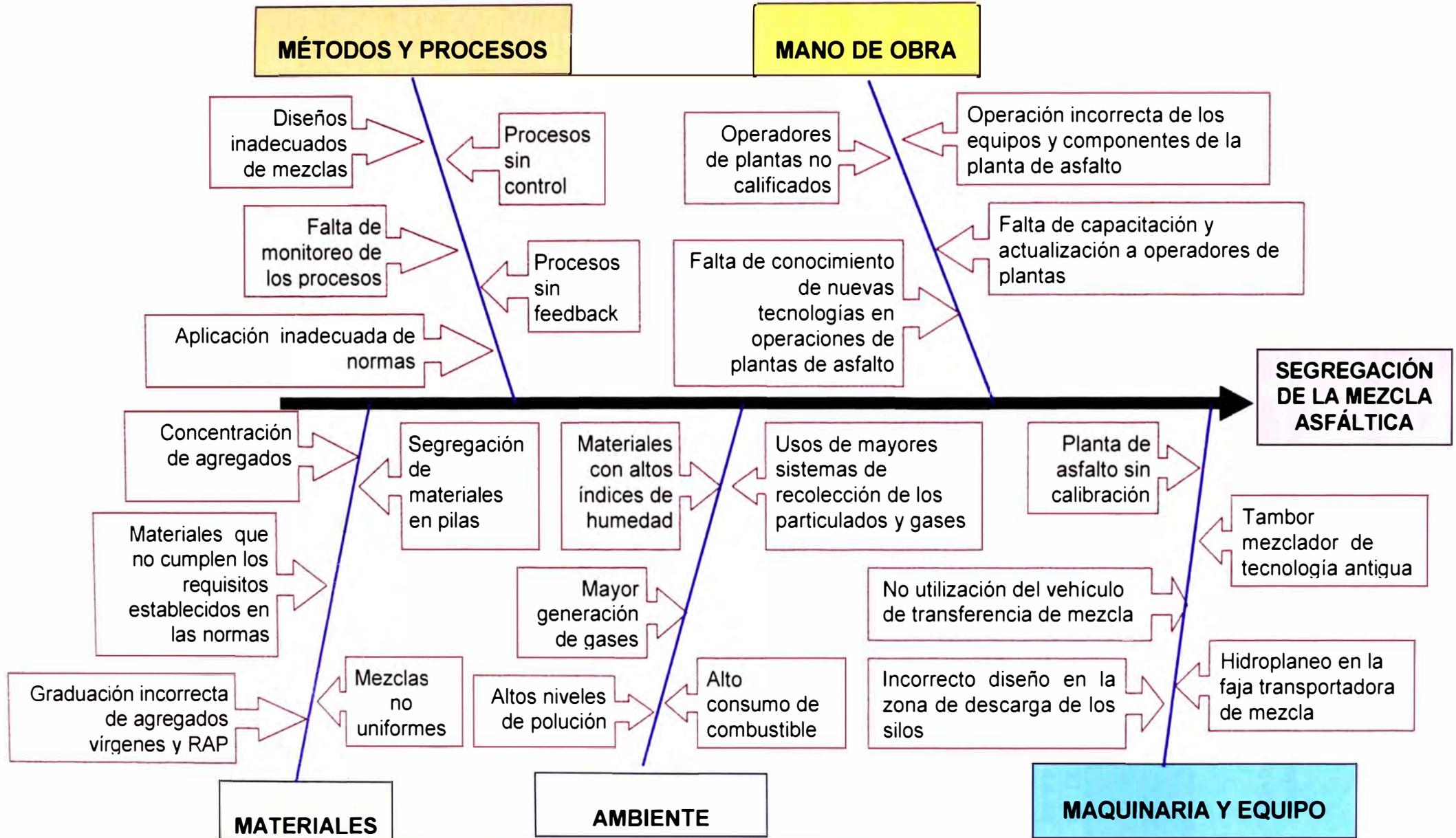


Figura 2.50 Sinfines mezcladores del Shuttle Buggy

A continuación se presenta el diagrama causa-efecto o diagrama Ishikawa del problema identificado como es la segregación de la mezcla asfáltica. Considera los siguientes aspectos:

- Métodos y procesos.
- Mano de obra.
- Materiales.
- Ambiente.
- Maquinaria y equipo

2.2.2 DIAGRAMA CAUSA EFECTO DEL PROBLEMA IDENTIFICADO: SEGREGACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA



2.2.3 Diagrama de Pareto del problema principal: segregación de la mezcla asfáltica

La Tabla 2.10 presenta las principales causas identificadas que generan las deficiencias o defectos cuantificados en las mezclas asfálticas en caliente y sus respectivos porcentajes.

N°	CAUSA DE LOS DEFECTOS EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	NÚMERO DEFECTOS	TOTAL ACUMULADO	PORCENTAJE PARCIAL	PORCENTAJE ACUMULADO
1	SEGREGACIÓN	50	50	27.78	27.78
2	OXIDACIÓN	30	80	16.67	44.44
3	DOSIFICACIÓN	20	100	11.11	55.56
4	DISEÑO	18	118	10.00	65.56
5	COMPACTACIÓN	15	133	8.33	73.89
6	COLOCACIÓN	13	146	7.22	81.11
7	CALIDAD DE AGREGADOS	10	156	5.56	86.67
8	EQUIPO	9	165	5.00	91.67
9	OPERACIÓN DE PLANTAS	8	173	4.44	96.11
10	APLICACIÓN DE NORMAS	5	178	2.78	98.89
11	CONDICIONES CLIMATICAS	2	180	1.11	100.00
	TOTAL	180		100.00	

Tabla 2.10 Causas de los defectos de las mezclas asfálticas

La Figura 2.51 muestra el diagrama de Pareto de los defectos que se presentan en las mezclas asfálticas y la respectiva curva del porcentaje total acumulado.

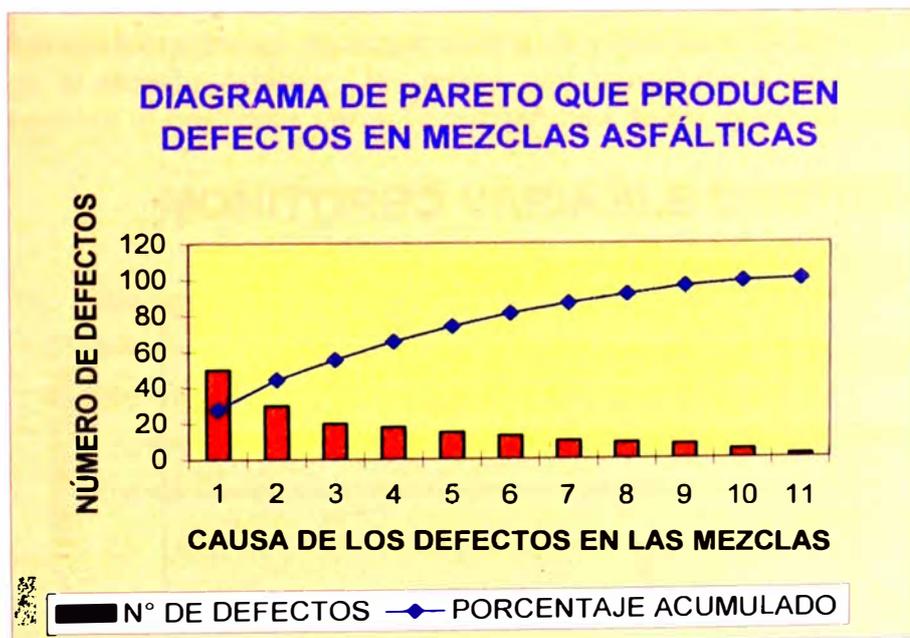


Figura 2.51 Diagrama de Pareto mostrando que el problema principal es la segregación de la mezcla

2.2.4 Variables críticas para el monitoreo sin aplicar SEIS SIGMA (σ)

A continuación se realizará la simulación de las variables críticas identificadas antes y después de la aplicación del Seis Sigma. Las indicadas variables son:

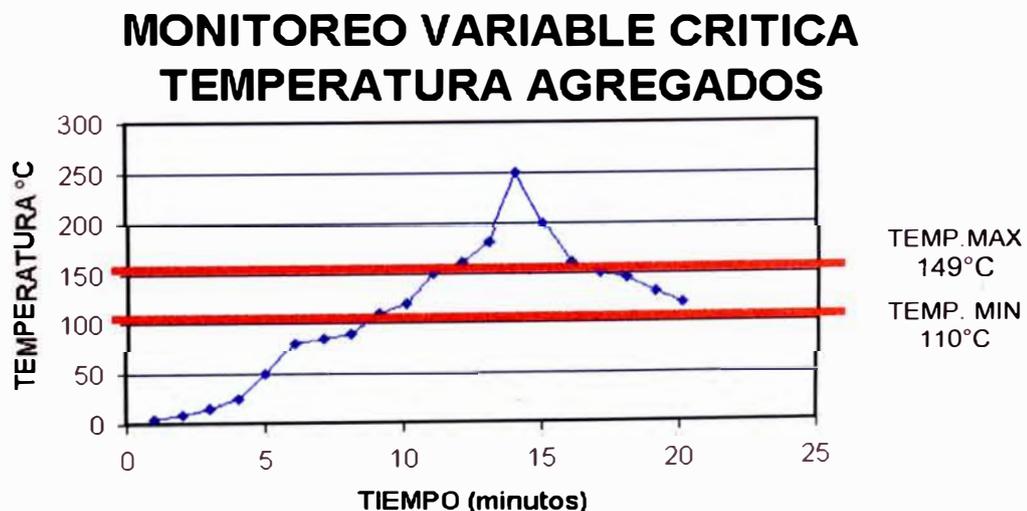
1. Temperatura de agregados en el tambor mezclador.
2. Dosificación de agregados que pasan la malla de 3/8" para la elaboración de mezcla.
3. Segregación de mezcla asfáltica en silo.
4. Temperatura del gas en el interior del tambor mezclador.

1.- VARIABLE CRÍTICA: TEMPERATURA DE AGREGADOS EN EL TAMBOR MEZCLADOR

La Tabla siguiente registra las variaciones de temperatura durante 20 minutos desde la zona de salida del tambor mezclador hasta que la mezcla asfáltica sea colocada en la base de la carretera.

TIEMPO Minutos	TEMPERATURA °C	TIEMPO Minutos	TEMPERATURA °C
1	5	11	150
2	10	12	160
3	15	13	180
4	25	14	250
5	50	15	200
6	80	16	160
7	85	17	150
8	90	18	145
9	110	19	130
10	120	20	120

La curva mostrada a continuación corresponde a las variaciones de la temperatura de los agregados en la mezcla asfáltica, las rectas con temperaturas máximas y mínimas indican el rango en el cual debe variar la temperatura de los agregados según la Figura 3.22.

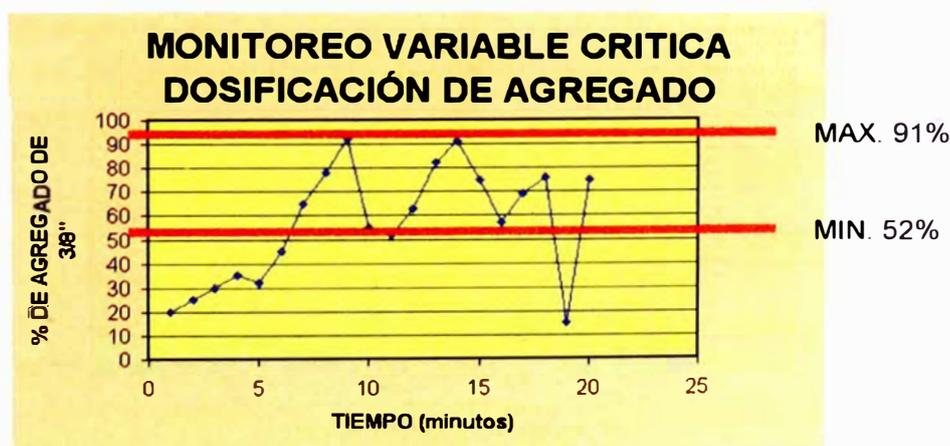


2.- VARIABLE CRÍTICA: DOSIFICACION DE AGREGADOS QUE PASAN LA MALLA DE 3/8" PARA LA ELABORACIÓN DE MEZCLA

La Tabla siguiente registra las variaciones durante 20 minutos en las mallas o zarandas de ingreso de agregados y en la zaranda de rechazo de agregados, el porcentaje de los agregados que pasan la malla de 3/8" para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente.

TIEMPO Minutos	% DE AGREGADOS 3/8"
1	20
2	25
3	30
4	35
5	32
6	45
7	65
8	78
9	92
10	55
11	52
12	63
13	82
14	91
15	75
16	57
17	69
18	76
19	15
20	75

La curva mostrada a continuación corresponde a las variaciones en porcentaje de la dosificación de los agregados que son aceptados y rechazados para la elaboración de la mezcla asfáltica, las rectas con porcentajes máximos y mínimos indican el rango según la AASHTO en el cual debe variar la indicada dosificación.



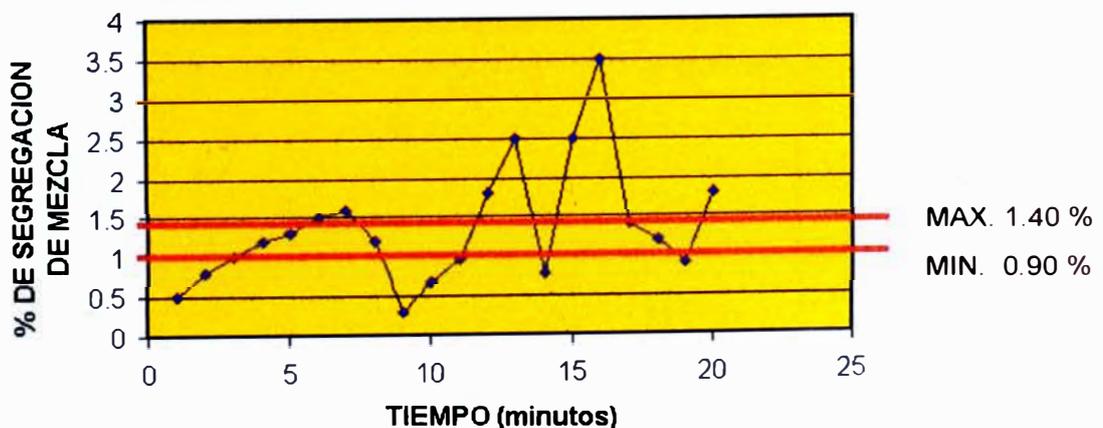
3.- VARIABLE CRÍTICA: SEGREGACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN SILO

La Tabla siguiente registra aleatoriamente las variaciones del porcentaje de mezcla asfáltica en caliente segregada en el silo durante 20 minutos.

TIEMPO Minutos	% DE MEZCLA SEGREGADA
1	0.5
2	0.8
3	1
4	1.2
5	1.3
6	1.5
7	1.6
8	1.2
9	0.3
10	0.68
11	0.96
12	1.8
13	2.5
14	0.78
15	2.5
16	3.5
17	1.4
18	1.2
19	0.9
20	1.8

La curva mostrada a continuación corresponde a las variaciones en porcentaje de la segregación de la mezcla asfáltica en caliente en el silo, las rectas con porcentajes máximos y mínimos indican el rango en el cual debe variar la indicada dosificación según el Paper T 117S de ASTEC.

MONITOREO VARIABLE CRITICA SEGREGACION DE MEZCLA SILO

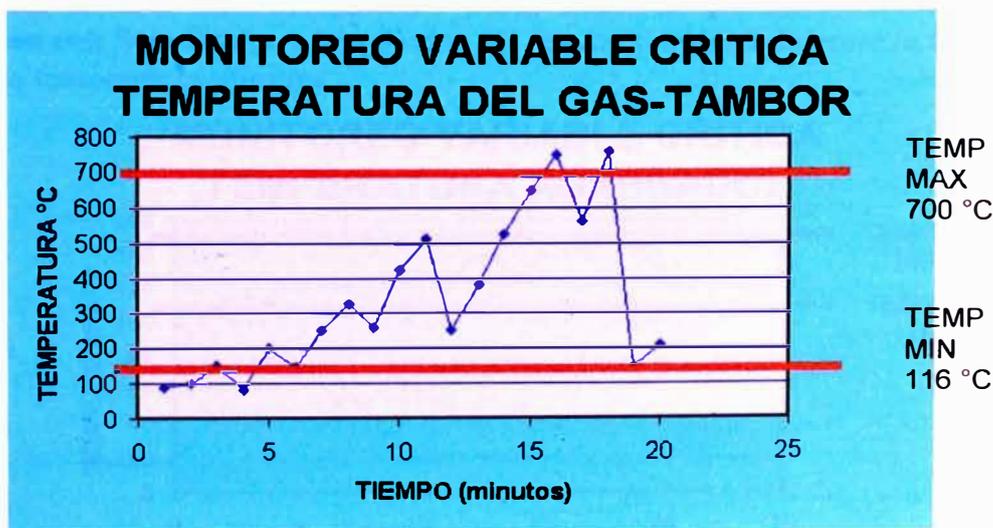


4.- VARIABLE CRÍTICA: TEMPERATURA DEL GAS EN EL INTERIOR DEL TAMBOR MEZCLADOR

La Tabla siguiente registra las variaciones aleatoriamente durante 20 minutos de la temperatura del gas en el interior del tambor mezclador.

TIEMPO Minutos	TEMPERATURA GAS ° C
1	90
2	100
3	150
4	85
5	200
6	145
7	250
8	325
9	260
10	425
11	510
12	250
13	380
14	525
15	650
16	750
17	560
18	760
19	145
20	210

La Curva mostrada a continuación corresponde a las variaciones de la temperatura del gas en el interior del tambor mezclador según la Figura 3.24.



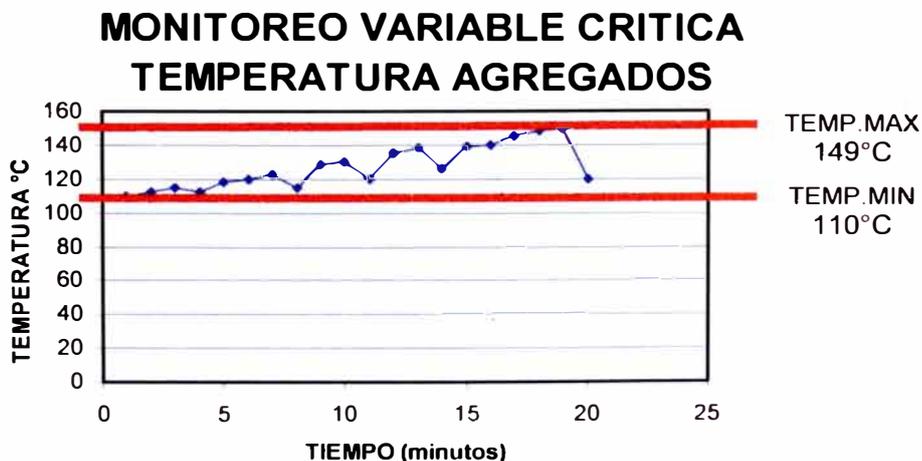
2.2.5 Variables críticas monitoreadas aplicando SEIS SIGMA (σ)

1.- VARIABLE CRÍTICA: TEMPERATURA DE AGREGADOS EN EL TAMBOR MEZCLADOR

La siguiente Tabla registra las variaciones de temperatura aplicando la metodología Seis Sigma por el lapso de 20 minutos desde la zona de salida del tambor mezclador hasta que la mezcla asfáltica sea colocada en la base de la carretera. Se puede notar que los valores de la temperatura tienden a ser uniformes con poca variabilidad.

TIEMPO Minutos	TEMPERATURA ° C
1	110
2	112
3	115
4	112
5	118
6	120
7	122
8	115
9	128
10	130
11	120
12	135
13	138
14	126
15	139
16	140
17	145
18	148
19	149
20	120

La Curva mostrada a continuación corresponde a las variaciones de la temperatura de los agregados en la mezcla asfáltica. Se puede observar que los puntos de la curva monitoreados con Seis Sigma están dentro del rango comprendido entre la temperatura máxima y la temperatura mínima.



2.- VARIABLE CRÍTICA: DOSIFICACION DE AGREGADOS QUE PASAN LA MALLA DE 3/8" PARA LA ELABORACIÓN DE MEZCLA

La siguiente Tabla, registra las variaciones del porcentaje de agregados que pasan la malla de 3/8" para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente, aplicando la metodología Seis Sigma por el lapso de 20 minutos en las mallas o zarandas de ingreso de agregados y en la zaranda de rechazo de agregados, se puede notar que los valores tienden a ser uniformes y con poca variabilidad.

TIEMPO Minutos	% DE AGEGADOS DE 3/8"	TIEMPO Minutos	% DE AGEGADOS DE 3/8"
1	52	11	85
2	55	12	82
3	56	13	80
4	58	14	89
5	60	15	91
6	65	16	65
7	55	17	90
8	68	18	86
9	72	19	75
10	70	20	85

La Curva mostrada a continuación corresponde a las variaciones del porcentaje de agregados que pasan la malla de 3/8" para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente de la temperatura de los agregados en la mezcla asfáltica. Se puede observar que los puntos de la curva monitoreados con Seis Sigma están dentro del rango comprendido entre el porcentaje máximo y mínimo.

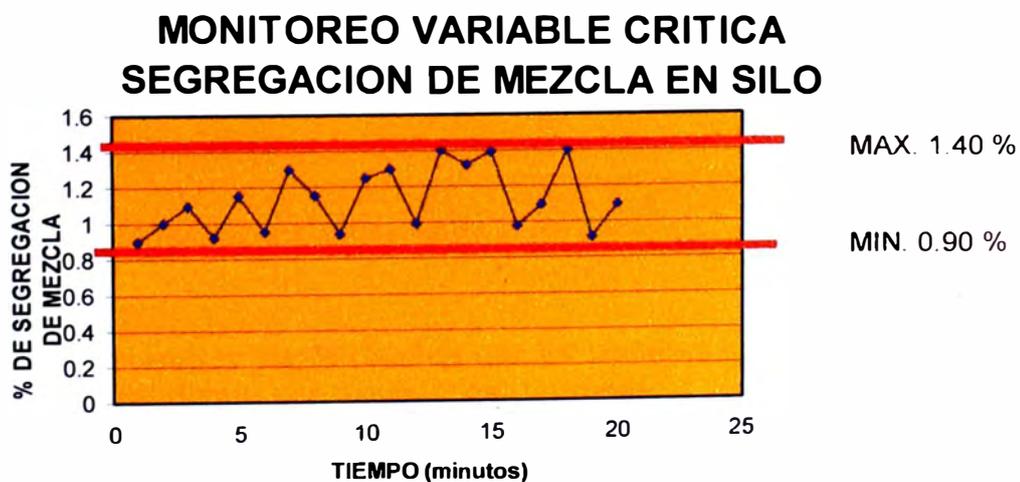


3.- VARIABLE CRÍTICA: SEGREGACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN SILO

La siguiente Tabla, registra las variaciones del porcentaje de mezcla asfáltica en caliente segregada, aplicando la metodología Seis Sigma por el lapso de 20 minutos en los silos se puede notar que los valores tienden a ser uniformes y con poca variabilidad.

TIEMPO Minutos	% DE MEZCLA SEGREGADA
1	0.9
2	1
3	1.1
4	0.92
5	1.15
6	0.95
7	1.3
8	1.15
9	0.94
10	1.25
11	1.3
12	0.99
13	1.4
14	1.32
15	1.39
16	0.98
17	1.1
18	1.4
19	0.91
20	1.1

La Curva mostrada a continuación corresponde a las variaciones del porcentaje de mezcla asfáltica en caliente segregada en los silos. Se puede observar que los puntos de la curva monitoreados con Seis Sigma están dentro del rango comprendido entre el porcentaje máximo y mínimo.

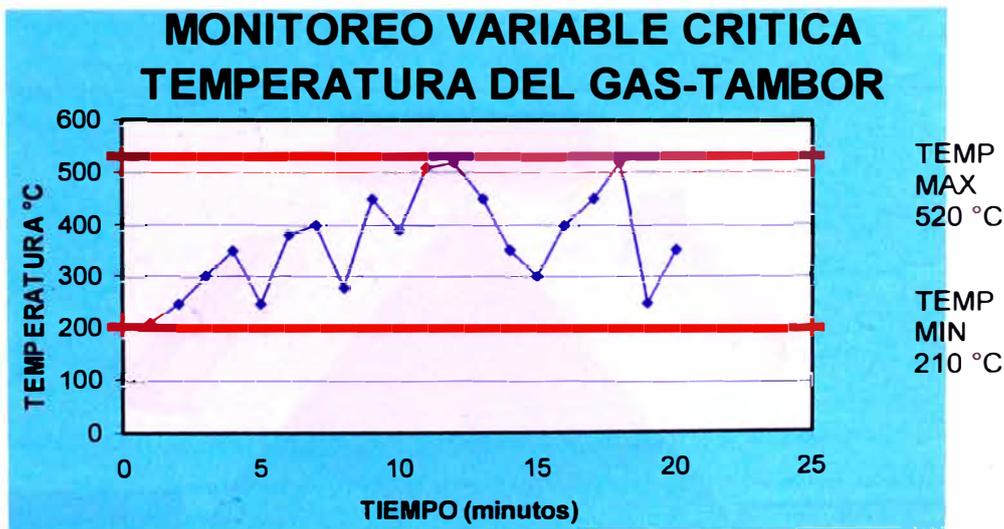


4.- VARIABLE CRÍTICA: TEMPERATURA DEL GAS EN EL INTERIOR DEL TAMBOR MEZCLADOR

La siguiente Tabla, registra las variaciones de la temperatura del gas al interior del tambor mezclador, aplicando la metodología Seis Sigma por el lapso de 20 minutos en los silos se puede notar que los valores tienden a ser uniformes y con poca variabilidad.

TIEMPO Minutos	TEMPERATURA GAS ° C	TIEMPO Minutos	TEMPERATURA GAS ° C
1	210	11	510
2	250	12	520
3	300	13	450
4	350	14	350
5	250	15	300
6	380	16	400
7	400	17	450
8	280	18	520
9	450	19	250
10	390	20	350

La Curva mostrada a continuación corresponde a las variaciones de la temperatura del gas al interior del tambor mezclador. Se puede observar que los puntos de la curva monitoreados con Seis Sigma están dentro del rango comprendido entre la temperatura máxima y la temperatura mínima.



De lo anteriormente expuesto se puede concluir que las variables críticas monitoreadas con la metodología Seis Sigma son controladas y admitidas dentro de los rangos establecidos ya sean en normas o catálogos técnicos. La adquisición de la información es posible obtenerla a tiempo real mediante los dispositivos o sensores instalados en la misma planta de asfalto los cuales envían los datos a las computadoras.

2.3 Herramientas de mejora continua de los procesos

Todo proyecto que tenga como filosofía la calidad bajo el enfoque de mejora continua mediante la implementación de Seis Sigma tiene como aspectos fundamentales los siguientes factores de éxito mostrados en la Figura 2.52:

1. **ALCANCE.** El Alcance es una variable que reviste enorme importancia para los proyectos. El Gerente de proyecto y los involucrados deben tener claridad sobre lo siguiente:

- a) ¿Qué es parte del proyecto?
- b) ¿Qué no es parte del proyecto?

La definición sobre ambos temas compromete al equipo del proyecto.

2. **TIEMPO.** Definido en forma precisa el alcance, se requiere establecer la programación de tiempo, bajo el cual se deberá ejecutar el proyecto. La premisa es cumplir con el tiempo programado, terminar antes sería favorable, concluir después de fecha impacta en diversas formas.

3. **COSTO.** Cumplidas las premisas anteriores el proyecto debe ser ejecutado cumpliendo con el costo programado. La única condición que podría variar el costo es que se presenten cambios en el alcance del proyecto.

4. **CALIDAD.** Calidad, en el amplio significado exige que las necesidades o carencias u objetivos que dieron origen al proyecto se cumplan necesariamente. No lograr esta premisa, es un indicativo que el proyecto fracasa.

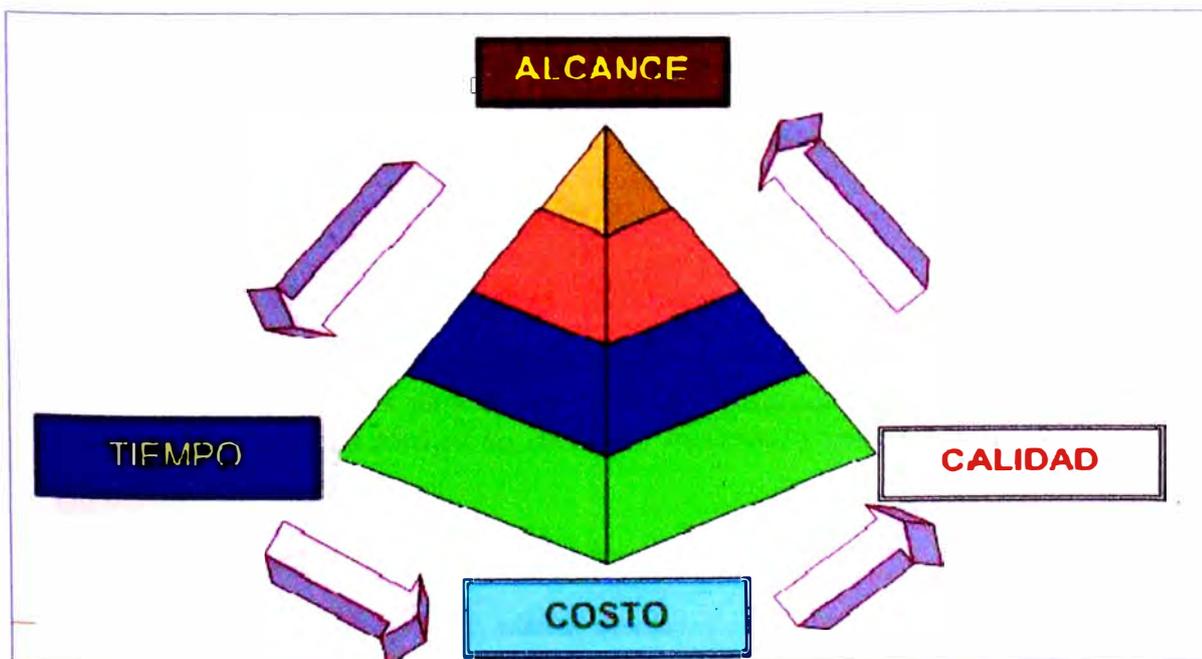


Figura 2.52 Factores de éxito de los proyectos

El Sistema Seis Sigma es mucho más que un trabajo en equipo, implica la utilización de refinados sistemas de análisis relativos al diseño, la producción y el aprovisionamiento. En materia de Diseño se utilizan herramientas como:

- Diseño de Experimentos (DDE).
- Diseño Robusto.
- Análisis del Modo de Fallos y Efectos (AMFE).

En cuanto a Producción se utilizan las herramientas básicas del control de calidad, entre los cuales se encuentran:

- Histogramas.
- Diagrama de Pareto.
- Diagrama de Ishikawa, AMFE, SPC (Control Estadístico de Procesos) y DDE.

A las actividades y procesos de Aprovisionamiento le son aplicables el SPC y el DDE correspondientes a los proveedores.

2.4 Equipo de mejora continua con Seis Sigma

El Equipo de Mejora consta de seis fases:

1. Identificación y selección de proyectos.

La Dirección considera los diversos proyectos de mejora presentados, seleccionando los más prometedores en función de posibilidades de implementación y de los resultados obtenibles. El proyecto tiene que tener un beneficio tanto para el negocio como para los clientes. El uso del Diagrama de Pareto es una herramienta beneficiosa para dicha selección.

2. Se procede a la formación de los equipos.

Entre los cuales se encuentra el Líder del Grupo (Cinturón Negro), para lo cual se involucrará a aquellos individuos que de acuerdo al Inventario Permanente de RR.HH. poseen las cualidades necesarias para integrarse al proyecto en cuestión.

3. Desarrollo del documento marco del proyecto.

El documento marco es clave como elemento en torno al cual se suman las voluntades del grupo, sirviendo de guía para evitar desvíos y contradicciones. El mismo debe ser claro, fijar claramente los límites en recursos y plazos, y por sobre todas las cosas el objetivo supremo a lograr.

4. Capacitación de los miembros del equipo.

Los mismos son capacitados, de no contar ya con conocimientos y/o experiencia en Seis Sigma, en estadísticas y probabilidades, herramientas de gestión, sistema de resolución de problemas y toma de decisiones, creatividad, pensamiento lateral, métodos de creatividad, PNL, planificación y análisis de procesos.

5. Ejecución del DMAMC e implementación de soluciones.

Los equipos deben desarrollar los planes de proyectos, la capacitación a otros miembros del personal, los procedimientos para las soluciones, y son responsables tanto de ponerlos en práctica como de asegurarse de que funcionan (midiendo y controlando los resultados) durante un tiempo significativo.

6. Traspaso de la solución.

Luego de cumplidos los objetivos para los cuales fueron creados, los equipos se disuelven y sus miembros vuelven a sus trabajos regulares o pasan a integrar equipos correspondientes a otros proyectos.

2.5 Cinturones y líderes del equipo de la mejora continua

1. Cinturones

Como una forma de identificar a determinados miembros del personal que cumplen funciones específicas en el proceso de Seis Sigma, e inspirados en las artes marciales como filosofía de mejora continua y elevada disciplina, se han conferido diversos niveles de cinturones para aquellos miembros de la organización que lideran y ayudan a liderar los proyectos de mejoras mostrados en la Figura 2.53.

Así, con el Cinturón Negro (Black Belt) se tiene a aquellas personas que se dedican a tiempo completo a detectar oportunidades de cambios críticas y a conseguir resultados. El Cinturón Negro es responsable de liderar, inspirar, dirigir, delegar, entrenar y cuidar de los miembros de su equipo. Debe poseer firmes conocimientos tanto en materia de calidad, como en temas relativos a estadística, resolución de problemas y toma de decisiones.

El Cinturón Verde (Green Belt) está formado en la metodología Seis Sigma sirviendo, como miembro del equipo, de apoyo a las tareas del Cinturón Negro. Sus funciones fundamentales consisten en aplicar los nuevos conceptos y herramientas de Seis Sigma a las actividades del día a día de la organización.

El Primer Dan (Master Black Belt o Maestro Cinturón Negro) sirve de entrenador, mentor y consultor para los Cinturones Negros que trabajan en los diversos proyectos. Debe poseer mucha experiencia en el campo de acción tanto en Seis Sigma como en las operativas fabriles, administrativas y de servicios.

Sponsor (Champion) es un ejecutivo o directivo que inicia y patrocina a un Black Belt o a un equipo de proyecto. Una especie de mecenas. Él mismo forma parte del Comité de Liderazgo, siendo sus responsabilidades garantizar que los proyectos están alineados con los objetivos generales del negocio y proveer dirección cuando eso no ocurra, mantener informados a los otros miembros del Comité de Liderazgo sobre el progreso del proyecto, proveer o persuadir a terceros para aportar al equipo los recursos necesarios, tales como tiempo, dinero y la ayuda de otros. Conducir reuniones de revisión periódicas y negociar conflictos y efectuar enlaces con otros proyectos Seis Sigma.

Champion y Black Belt con el Equipo

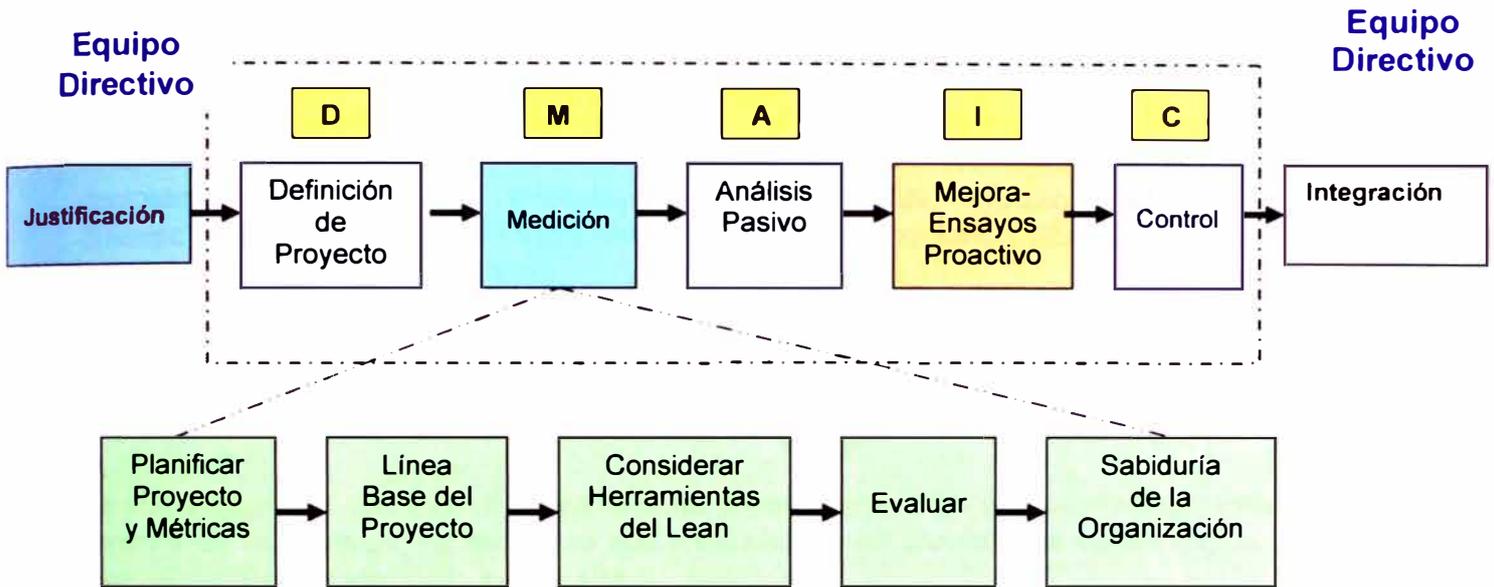


Figura 2.53 Roles en la estrategia Seis Sigma

2. Líderes

El Líder de implementación está generalmente a cargo del Chief Executive Officer (CEO) u otra figura máxima y cercana a ese nivel, es responsable de la puesta en práctica del sistema Seis Sigma y de los resultados que este arroje para la organización, siendo el estratega fundamental del sistema.

2.6 Estrategia de implantación del Seis Sigma

Un plan exitoso de Seis Sigma comprende cuatro etapas fundamentales, cada una de las cuales está constituida por sub-etapas (las cuales pueden desarrollarse en forma paralela), estas sub-etapas son:

- a) Decisión del Cambio
- b) Despliegue de Objetivos
- c) Desarrollo del Proyecto
- d) Evaluación de Beneficios

a) Decisión del cambio

Es necesario y primordial convencer y demostrar a los directivos de la empresa acerca de la imperiosa necesidad del cambio. Ello se logrará mejor si se muestra la evolución de los mercados en general y de la industria específica en especial, tanto a nivel mundial como nacional y regional.

En segundo lugar, debe mostrarse claramente lo que acontece con la empresa, describiendo su evolución y comparándola con la de los actuales y futuros competidores. Debe dejarse en claro dónde estará la empresa dentro de cinco o diez años de no efectuar cambios, y dónde estarán las empresas que sí realicen tales cambios.

Demostrada la necesidad de instaurar un proceso de mejora continua, y de reingeniería si es necesario para cubrir rápidamente brechas de performance, el paso siguiente es demostrar las características y cualidades de Seis Sigma, mostrando además las diferencias de éste en relación a otros sistemas de calidad y mejora continua.

De estar aplicando ya la empresa algún otro sistema o método de mejora continua, se hace menester evaluar los resultados que los mismos están brindando, para lo cual un buen método es evaluar el nivel de sigma que tienen sus procesos actualmente y compararlos (benchmarking) con los competidores globales.

La etapa siguiente consiste en el cambio de paradigmas de los directivos y personal superior de la empresa. Es necesario que eliminen de sus mentes que los errores son algo admisible y propio de la producción.

Se planifica estratégicamente definiendo claramente cuáles son los valores, la misión y visión de la empresa, para fijar con posterioridad objetivos a lograr para hacer factibles los objetivos de más largo plazo.

Sobre la base de estos aspectos, se debe alcanzar una visión compartida con la cual se alcance la energía suficiente para lograr un trabajo en equipo que permita el logro de óptimos resultados en la puesta en marcha de Seis Sigma. En función de los planes, se asignan partidas presupuestarias a los efectos de su puesta en marcha y funcionamiento.

Se seleccionan los Líderes y Cinturones en mérito a sus conocimientos, capacidades y puestos que actualmente ocupan. Se debe proceder a la capacitación y el entrenamiento de los diversos niveles de cinturones y liderazgos, como así también al resto del personal. Esta capacitación incluirá diferentes aspectos, dependiendo de las funciones y los niveles que cubra dicho personal.

Se incluirán aspectos vinculados con el significado y funcionamiento de Seis Sigma, los métodos de resolución de problemas y toma de decisiones, trabajo en equipo, liderazgo y motivación, creatividad, control estadístico de procesos, diseño de experimentos, herramientas de gestión, AMFE, estadística y probabilidades, muestreo, satisfacción del consumidor, calidad y productividad, costo de calidad, sistemas de información, utilización de software estadístico, supervisión y diseño de proyectos, entre otros.

b) Despliegue de objetivos

Se establecen los sistemas de información, capacitación y supervisión apropiados al nuevo sistema de mejora. Se incluyen en los sistemas de información y control (Cuadros de Mando Integral) los objetivos, indicadores e inductores relativos a Seis Sigma.

De no existir un Cuadro de Mando Integral, se procede a elaborar un Cuadro de Indicadores de Seis Sigma. Se forman los primeros grupos de trabajo en función de los proyectos seleccionados.

Los proyectos son seleccionados en función de los beneficios tanto para la empresa como, fundamentalmente, para el incremento en la satisfacción de los clientes y consumidores.

Es conveniente comenzar con proyectos piloto para poner a prueba las técnicas y los conocimientos aprendidos, y demostrar además al resto de la organización acerca de los logros en la implementación del sistema.

c) Desarrollo del proyecto

Es primordial, antes que nada, definir los requerimientos de los clientes externos e internos, y la forma en que se medirá el logro de dichas especificaciones. Los círculos de calidad o equipos de trabajo Seis Sigma (ETSS) proceden a aplicar la metodología DMAMC (Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar).

Se mantiene informado a los directivos acerca de la marcha de los diferentes proyectos.

d) Evaluación de beneficios

Se determinan las mejoras producidas luego de la implementación de los cambios resultantes del desarrollo de los diversos proyectos. Ello se manifiesta tanto en niveles de rendimiento como en niveles de sigma, DPMO y ahorros obtenidos.

Es conveniente hacer un seguimiento constante de los niveles de satisfacción, tanto de los clientes internos como externos.

2.7 Sistemas SCADA

2.7.1 Definición del sistema Scada

SCADA, acrónimo de Supervisory Control and Data Acquisition (en español, Supervisión de Control y Adquisición de Datos). SCADA es un sistema basado en aplicaciones de software diseñada para funcionar sobre computadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (Controladores Lógicos Programables- PLC, Unidad Terminal Remota-RTU, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del computador o entorno básico del SCADA mostrado en la Figura 2.54. Permite realizar a distancia operaciones de control, supervisión y registro de datos de cualquier proceso industrial. A diferencia de los Sistemas de Control Distribuido (DCS), el lazo de control es generalmente cerrado por el operador.

Los Sistemas de Control Distribuido (DSC) se caracterizan por realizar las acciones de control en forma automática. Hoy en día es fácil hallar un sistema SCADA realizando

labores de control automático en cualquiera de sus niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y control por parte del operador.

Los sistemas SCADA mejoran la eficacia del proceso de monitoreo y control proporcionando la información oportuna para poder tomar decisiones operacionales apropiadas. De igual forma, ya que cuenta con información (alarmas, históricos, paradas, etc.) de primera mano de lo que ocurre u ocurrió en el proceso, permite la integración con otras herramientas del negocio como lo son intranets, ERP, SPC, etc.

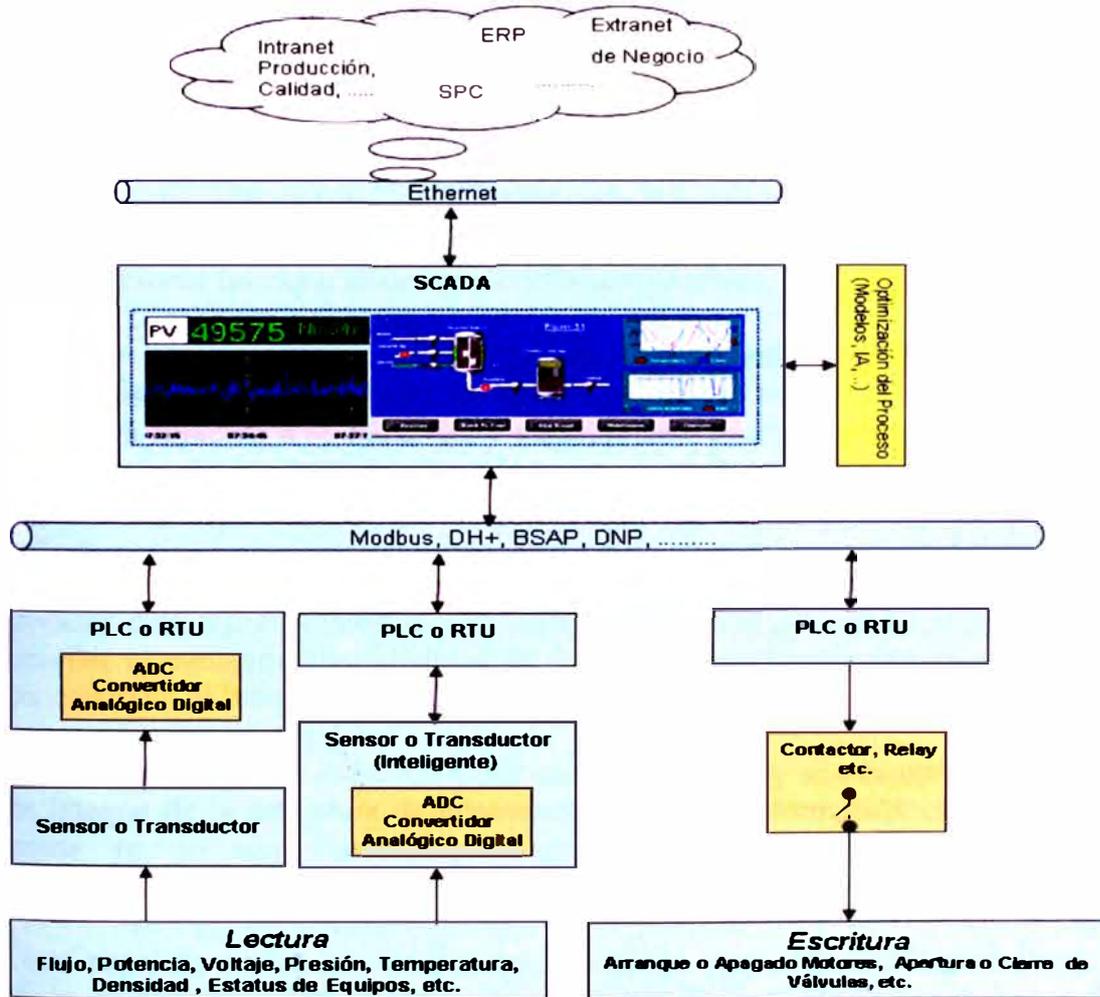


Figura 2.54 Entorno básico del sistema SCADA

2.7.2 Historia del sistema SCADA

Los primeros SCADA eran simples sistemas que proporcionaban reportes periódicos de las condiciones de campo, vigilando las señales que representaban medidas y/o condiciones de estado en ubicaciones de campo remotas, en muchos casos lo que se hacía era imprimir en papel para registrar información de variables y poder llevar un histórico de eventos que ocurrían durante el proceso.

Estos sistemas ofrecían capacidades muy simples de monitoreo y control, sin proveer funciones de aplicación alguna. La visión del operador en el proceso estaba basada en los contadores y las lámparas detrás de paneles llenos de indicadores.

Mientras la tecnología se desarrollaba, los ordenadores asumieron el papel de manejar la recolección de datos, disponiendo comandos de control, y una nueva función - presentación de la información sobre una pantalla que para ese momento eran monocromáticas.

Muchas empresas viendo la necesidad y lo rápido que avanzaba el desarrollo de los computadores, fueron realizando programas de aplicación específicos para atender requisitos de algún proyecto particular. Así nacieron los pequeños SCADAS desarrollados por empresas desarrolladoras de software y una nueva experiencia para muchas de ellos.

Actualmente, los proveedores de SCADA están diseñando sistemas que son pensados para resolver las necesidades de muchas industrias con módulos de software disponibles para proporcionar las capacidades requeridas comúnmente.

Puesto que los proveedores de SCADA aún tienen tendencia en favor de alguna industria, los compradores de estos sistemas a menudo dependen del proveedor para una comprensiva solución a su requisito, y generalmente procurar seleccionar un vendedor que pueda ofrecer una completa solución con un producto estándar que esté orientado hacia las necesidades específicas del usuario final.

Si selecciona a un vendedor con experiencia limitada en la industria del comprador, el comprador debe estar preparado para asistir al esfuerzo de ingeniería necesario para desarrollar el conocimiento adicional de la industria requerido por el vendedor para poner con éxito el sistema en ejecución.

La mayoría de los sistemas SCADA que son instalados hoy se está convirtiendo en una parte integral de la estructura de gerenciamiento de la información corporativa. Estos sistemas ya no son vistos por la gerencia simplemente como herramientas operacionales, sino como un recurso importante de información.

En este papel continúan sirviendo como centro de responsabilidad operacional, pero también proporcionan datos a los sistemas y usuarios fuera del ambiente del centro de control que dependen de la información oportuna en la cual basan sus decisiones económicas cotidianas.

En la Tabla 2.11 se muestra un cuadro comparativo de las principales características de los sistemas SCADA y los Sistemas de Control Distribuido (DCS) (estas características no son limitantes para uno u otro tipo de sistemas, son típicas).

ASPECTO	SCADA	DCS
TIPO DE ARQUITECTURA	CENTRALIZADA	DISTRIBUÍDA
TIPO DE CONTROL PREDOMINANTE	SUPERVISION: Supervisión y monitoreo a lazo cerrado. No es aconsejable lazos cerrados de control. Adicionalmente: control secuencial y regulatorio.	REGULATORIO: Lazos de control cerrados automáticamente por el sistema. Adicionalmente: control secuencial, batch, algoritmos avanzados, etc.
TIPOS DE VARIABLES	DESACOPLADAS	ACOPLADAS
ÁREA DE ACCIÓN	Áreas geográficamente distribuidas.	Área de la planta.
UNIDADES DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL	Remotas, PLCs.	Controladores de lazo, PLCs.
MEDIOS DE COMUNICACIÓN	Radio, satélite, líneas telefónicas, conexión directa, LAN, WAN.	Redes de área local, conexión directa.
BASE DE DATOS	CENTRALIZADA	DISTRIBUÍDA

Tabla 2.11 Algunas diferencias típicas entre sistemas SCADA Y DCS.

El flujo de la información en los sistemas SCADA es como se describe a continuación:

1. El Fenómeno Físico lo constituye la variable que deseamos medir. Dependiendo del proceso, la naturaleza del fenómeno es muy diversa: presión, temperatura, flujo, potencia, intensidad de corriente, voltaje, ph, densidad, etc. Este fenómeno debe traducirse a una variable que sea inteligible para el sistema SCADA, es decir, en una variable eléctrica. Para ello, se utilizan los Sensores o Transductores.
2. Los Sensores o Transductores convierten las variaciones del fenómeno físico en variaciones proporcionales de una variable eléctrica. Las variables eléctricas más utilizadas son: voltaje, corriente, carga y resistencia. Sin embargo, esta variedad de tipos de señales eléctricas debe ser procesada para ser entendida por el computador digital. Para ello se utilizan Acondicionadores de Señal, cuya función es la de referenciar estos cambios eléctricos a una misma escala de corriente o voltaje. Además, provee aislamiento eléctrico y filtraje de la señal con el objeto de proteger al sistema de ruidos originados en el campo.
3. Una vez acondicionada la señal, la misma se convierte en un valor digital equivalente en el bloque de Conversión de Datos. Generalmente, esta función es llevada a cabo por un circuito de conversión analógico/digital. El computador almacena esta información, la cual es utilizada para su análisis y para la toma de decisiones. simultáneamente, se muestra la información al usuario del sistema, en tiempo real.

Basado en la información, el operador puede tomar la decisión de realizar una acción de control sobre el proceso, el operador comanda al computador, y de nuevo debe convertirse la información digital a una señal eléctrica, esta señal eléctrica es procesada por una salida de control, el cual funciona como un acondicionador de señal, la cual la escala para manejar un dispositivo dado: bobina de un relé, setpoint de un controlador, quemador de plantas de asfalto como lo muestra la Figura 2.55, etc.

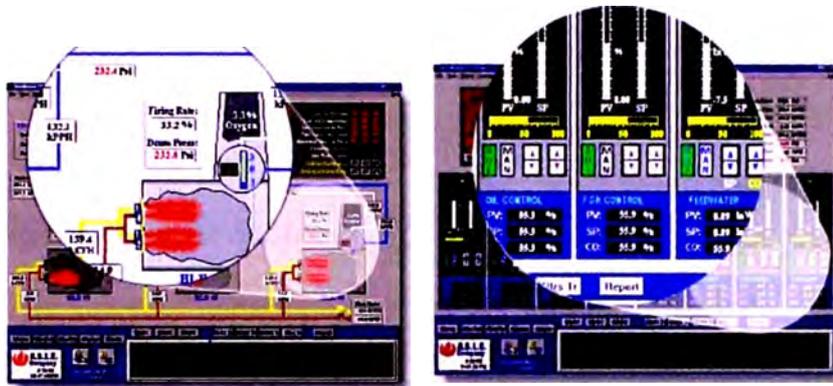


Figura 2.55 Control del quemador de una planta de asfalto con SCADA

2.7.3 Necesidad de un sistema Scada

Para evaluar si un sistema SCADA es necesario para manejar una instalación dada, el proceso a controlar debe cumplir las siguientes características:

- El número de variables del proceso que se necesita monitorear es alto.
- El proceso está geográficamente distribuido. Esta condición no es limitativa, ya que puede instalarse un SCADA para la supervisión y control de un proceso concentrado en una localidad.
- Las información del proceso se necesita en el momento en que los cambios se producen en el mismo, o en otras palabras, la información se requiere en tiempo real.
- La necesidad de optimizar y facilitar las operaciones de la planta, así como la toma de decisiones, tanto gerenciales como operativas.
- Los beneficios obtenidos en el proceso justifican la inversión en un sistema SCADA. Estos beneficios pueden reflejarse como aumento de la efectividad de la producción, de los niveles de seguridad, etc.
- La complejidad y velocidad del proceso permiten que la mayoría de las acciones de control sean iniciadas por un operador. En caso contrario, se requerirá de un Sistema de Control Automático, el cual lo puede constituir un Sistema de Control Distribuido, PLC's, Controladores a Lazo Cerrado o una combinación de ellos.

2.7.4 Funciones del sistema SCADA

Dentro de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA están las siguientes:

- a) Recabar, almacenar y mostrar información, en forma continua y confiable, correspondiente a la señalización de campo: estados de dispositivos, mediciones, alarmas, etc.
- b) Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador, tales como: abrir o cerrar válvulas, arrancar o parar bombas, etc.
- c) Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.
- d) Aplicaciones en general, basadas en la información obtenida por el sistema, tales como: reportes, gráficos de tendencia, historia de variables, cálculos, predicciones, detección de fugas, etc.

2.7.5 *Requisitos del sistema SCADA*

- a) Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- b) Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- c) Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

2.7.6 *Prestaciones del sistema SCADA*

- a) **Adquisición de datos.** Recolección de datos.
- b) **Trending.** Salvar los datos en una base de datos, y ponerlos a disposición de forma gráfica para su análisis.
- c) **Procesamiento de Alarmas.** Analizar los datos recogidos para ver si han ocurrido condiciones anormales, y alertar a personal de operaciones sobre las mismas.
- d) **Control.** Control a Lazo Cerrado, e iniciados por operador.
- e) **Visualizaciones.** Gráficos del equipamiento actualizado para reflejar datos del campo.
- f) **Hot Standby.** Es decir, mantener un sistema idéntico con la capacidad segura de asumir el control inmediatamente si el principal falla.
- g) **Interfaces con otros sistemas.** Transferencia de datos hacia y desde otros sistemas corporativos para, por ejemplo, el procesamiento de órdenes de trabajo, de compra, la actualización de bases de datos, etc.
- h) **Seguridad.** Control de acceso a los distintos componentes del sistema.
- i) **Administración de la red.** Monitoreo de la red de comunicaciones.
- j) **Administración de la Base de datos.** Agregar nuevas estaciones, puntos, gráficos, puntos de cambio de alarmas, y en general, reconfigurar el sistema.
- k) **Aplicaciones especiales.** Software de aplicación especial, asociado generalmente al monitoreo y al control de la planta.
- l) **Sistemas expertos.** Sistemas de modelado. Incluir sistemas expertos incorporados, o capacidad de modelado de datos.

2.7.7 Módulos del sistema SCADA

- a) **Configuración:** permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
- b) **Interfaz gráfico del operador:** proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta.
- c) **Módulo de proceso:** ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas.
- d) **Gestión y archivo de datos:** se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- e) **Comunicaciones:** se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión.
- f) **Servicios:** interoperatividad y gestión del SCADA como son: mensajería, seguridad, balance de carga, etc.

2.7.8 Justificación del uso de SCADA

Las exigencias que actualmente se imponen a los procesos productivos en cuestión de rendimiento, calidad y flexibilidad hacen necesario introducir las nuevas tecnologías en el control y vigilancia de éstos. Con este propósito, nace la idea de supervisar los procesos. La incorporación de nuevas tecnologías en la industria permite la reducción del número de paradas innecesarias, la predicción de citaciones anómalas o la actuación rápida y eficaz de forma que se asegure la continuidad y uniformidad de la producción.

Así, la supervisión de procesos se establece como forma de automatizar tareas como las descritas en las guías de aseguramiento de la calidad y/o en los planes de mantenimiento preventivo con el fin de eliminar o reducir situaciones indeseadas.

La centralización y registro de datos es el primer paso en la implantación de un sistema de supervisión, y su simplicidad reside en la conectividad que ofrecen los actuales sistemas de control. Son los llamados sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisiton) o software de monitorización y control que permiten el acceso a datos del proceso y cierta interacción entre el operario (interfaces gráficos y animados) y el proceso (adquisición de datos a través de dispositivos de campo).

Estos sistemas SCADA han substituido las salas de control por ordenadores o terminales de control, y los bellos pero estáticos y voluminosos sinópticos por pantallas configurables y animadas.

Se conservan las representaciones gráficas substituyendo el papel por representaciones en pantalla de datos almacenados en los discos duros. El objetivo es facilitar la tarea del operario encargado de la vigilancia del proceso y su seguimiento.

La incorporación de dichos sistemas conlleva que el número de medidas del proceso registradas aumente considerablemente y el operario deba hacerse cargo de su seguimiento. Por tanto el nuevo reto es de mayor autonomía a estos sistemas de supervisión según lo presenta la Figura 2.56.

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

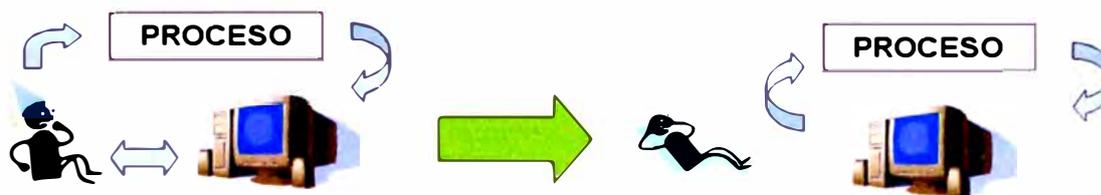


Figura 2.56 Monitorización y supervisión utilizando SCADA

2.7.9 Arquitectura y alcances del sistema SCADA

En casa y en la oficina, el ordenador personal continúa con su progreso. El PC se ha establecido en un gran número de campos. Los componentes hardware y software están siendo cada vez más potentes y más rentables. Es lógico, por tanto, que la industria quiera tomar provecho de este hecho, para reducir costes y/o incrementar la productividad.

Ciertas tareas industriales están actualmente en manos de los ordenadores desde hace tiempo: desde emplear la tecnología Windows cuando se manejan pedidos y/o se ajustan parámetros de maquinaria hasta preparar o visualizar datos prácticamente de cualquier tipo.

No hay que sorprenderse entonces, que los especialistas en automatización y los usuarios estén pensando ahora en qué forma se pueden transferir al PC otras tareas, para poder llegar a un mayor ahorro. Más recientemente un gran número de simuladores de PLC (Controladores Lógicos Programables) por software han aparecido en el mercado, que están ayudando a transferir el control de tareas al disco duro y presentan una automatización más efectiva en costos en una simple pieza de hardware.

Los alcances de los Sistemas SCADA son:

a.- Tiempo real.

La capacidad en tiempo real se refiere a la capacidad del ordenador en programas de procesamiento de datos para que siempre esté listo para procesar y proporcionar los resultados dentro de un tiempo especificado. En este contexto "estrictamente en tiempo real" significa que un sistema reacciona a los eventos externos dentro de un tiempo especificado en un 100% de los casos.

Además si se habla de "tiempo real" el sistema debe responder en tiempos concretos también en un 100% de los casos. Si, de otra forma, los tiempos concretos de reacción pueden superarse en ciertos casos, como en sistemas no críticos, hablamos de "tiempo real suave".

b.- Hardware en sistemas de supervisión: PLC y PC.

El hecho es que las tareas automatizadas de control, visualización y computación pueden ser efectuadas por PLCs (conectados en red mediante los módulos adecuados) mejor que con sistemas exclusivos de control basados en PC. Lo que finalmente es práctico, no obstante, depende de un gran número de factores y la mayoría deben ser

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

considerados individualmente para cada proyecto de automatización. Así, por ejemplo, los actuales conocimientos y preferencias del usuario pueden jugar un mayor papel que la pura potencia del ordenador. Los factores cruciales, no obstante, son los atributos de capacidad en tiempo real y las propiedades de seguridad que hasta ahora han sido fuertemente asociadas con el PLC, aunque el PC también puede disponer de la característica de capacidad en tiempo real. Un sistema de control es inconcebible sin capacidad en tiempo real.

Es común en sistemas de control por ordenador tener que elegir, según las características del sistema a supervisar, entre el PLC o el PC. Se debe elegir aquel hardware que mejor se adapte a las necesidades del sistema a supervisar.

Los controladores lógicos programables, en la mayoría de los casos, están diseñados específicamente para ser empleados en ambientes industriales exigentes y han sido continuamente desarrollados de forma que sus sistemas operativos en tiempo real representan su mayor virtud. Ellos son y seguirán siendo, no obstante, la primera elección para todo control de tareas críticas o extremas por su rendimiento y simpleza, en los que un PC podría estar simplemente "sobrecargado" debido al trabajo que le pueden suponer otras tareas de ámbito común, como la gestión y visualización de datos, accesos a periféricos, bases de datos, etc.

Si, además del control de tareas, se necesita un procesamiento de datos, trabajo en red o visualización (una aplicación SCADA), un sistema basado en PC debe ser tomado en consideración.

En cuanto a sistemas operativos, Windows NT, por ejemplo, no es estrictamente un sistema operativo en tiempo real como el de un PLC, pero puede actuar de forma suficientemente rápida para aplicaciones "suaves" en tiempo real, gracias a su arquitectura de micro-kernel.

c.- Tarjetas de expansión.

Como el sistema operativo sólo puede proporcionar respuestas suaves en tiempo real lo más simple es emplear extensiones hardware para las tareas críticas (placas de expansión PC) y soluciones software para el resto de tareas. Esto nos lleva a una compatibilidad con futuros sistemas operativos y una solución totalmente factible actualmente.

Estas tarjetas de expansión asumen las tareas críticas en tiempo real que el ordenador (PC) no puede atender, se está hablando de tarjetas que incorporan DSPs (Procesadores de Señales Digitales) o microcontroladores y que aportan una ayuda a la anterior "sobrecarga" mencionada para los ordenadores (PC).

d.- La estructura abierta.

En las plantas modernas de asfalto se ha establecido estándares para poseer extensiones compatibles en tiempo real de los sistemas operativos a través de la estructura abierta. De tal manera que disponen del Sistema SCADA de control automático para obtener

información de todos los componentes como: Tolvas en frío, quemador, tambor, silos, filtro de mangas etc., tal como lo muestra la Figura 2.57.

La principal ventaja de la estructura abierta, es que permite a los fabricantes de plantas de asfalto desarrollar con mayor libertad la herramienta más adecuada para el análisis, diseño y programación del sistema SCADA mostrado en la Figura 2.58.



Figura 2.57 Sistema SCADA de estructura abierta de planta de asfalto Almix



Figura 2.58 Evaluación de la estructura abierta del sistema SCADA en la cabina de control de la planta de asfalto Almix en Fort Wayne Indiana E.U.A

2.8 Programación del sistema SCADA con LabVIEW

2.8.1 Introducción a LabVIEW

LabVIEW es un lenguaje completamente gráfico, y el resultado de ello es que es totalmente parecido a un instrumento, por ello a todos los módulos creados con LabVIEW se les llama VI (Instrumento Virtual).

Existen dos conceptos básicos en LabVIEW: el Front Panel (Panel Frontal) y el Block Diagram (Diagrama de Bloque). El Panel Frontal mostrado en la Figura 2.59, es el interfaz que el usuario está viendo y puede ser totalmente parecido al instrumento del cual se están recogiendo los datos, de esta manera el usuario sabe de manera precisa

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

cual es el estado actual de dicho instrumento y los valores de las señales que se están midiendo, El diagrama de bloques es el conexionado de todos los controles y variables, que tendría cierto parecido al diagrama del esquema eléctrico del instrumento.

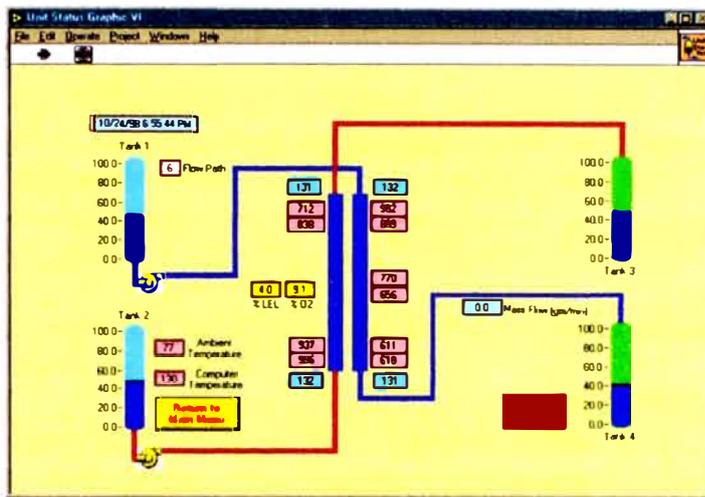


Figura 2.59 Panel frontal

LabVIEW tiene la característica de descomposición modular ya que cualquier VI (Instrumento Virtual) que se ha diseñado puede convertirse fácilmente en un módulo que puede ser usado como una sub-unidad dentro de otro VI (Instrumento Virtual). Esta peculiaridad podría compararse a la característica de procedimiento en los lenguajes de programación estructurada.

Es un sistema abierto, en cuanto a que cualquier fabricante de tarjetas de adquisición de datos o instrumentos en general puede proporcionar el driver de su producto en forma de VI (Instrumento Virtual) dentro del entorno de LabVIEW.

También es posible programar módulos para LabVIEW en lenguajes como C y C++, estos módulos son conocidos como Sub-VIs y no se diferencian a los VI (Instrumento Virtual) creados con LabVIEW salvo por el interfaz del lenguaje en el que han sido programados. Además estos Sub-VIs (Instrumentos Virtuales) son muy útiles por ejemplo en el campo de cálculos numéricos complejos que no se encuentran incluidos en las librerías de LabVIEW mostrados en la Figura 2.60.

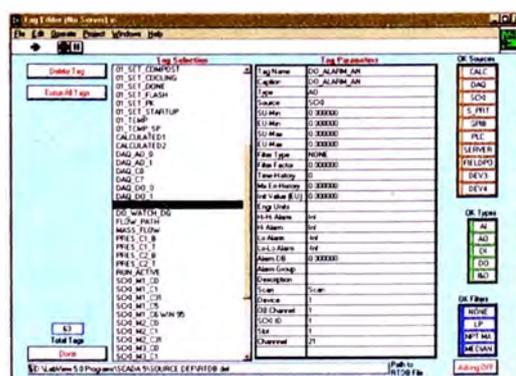


Figura 2.60 Interfaz del LabVIEW con SCADA

El uso de LabVIEW está extendido fundamentalmente entre ingenieros, científicos y técnicos de todo el mundo, que utilizan LabVIEW para desarrollar soluciones que respondan a sus aplicaciones más exigentes. LabVIEW se utiliza para numerosas aplicaciones de control de procesos y automatización. LabVIEW permite realizar medidas y control de alta velocidad y con muchos canales.

Para aplicaciones de automatización industrial complejas y a gran escala existe un módulo llamado “Datalogging and Supervisory Control”, con el que se puede monitorizar gran número de puntos de E/S, comunicarse con controladores industriales y redes y proporcionar un control automático basado en PC.

LabVIEW de National Instruments (NI) es un entorno de desarrollo gráfico con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de medida y presentaciones de datos.

LabVIEW proporciona la flexibilidad de un potente entorno de programación, pero es mucho más sencillo de utilizar que los entornos tradicionales.

LabVIEW se diferencia de otras aplicaciones en que dichos sistemas usan lenguajes basados en líneas de texto (como C o BASIC), mientras que LabVIEW utiliza un lenguaje de programación gráfico, G, para crear el programa mediante diagramas de bloques mostrados en la Figura 2.61.

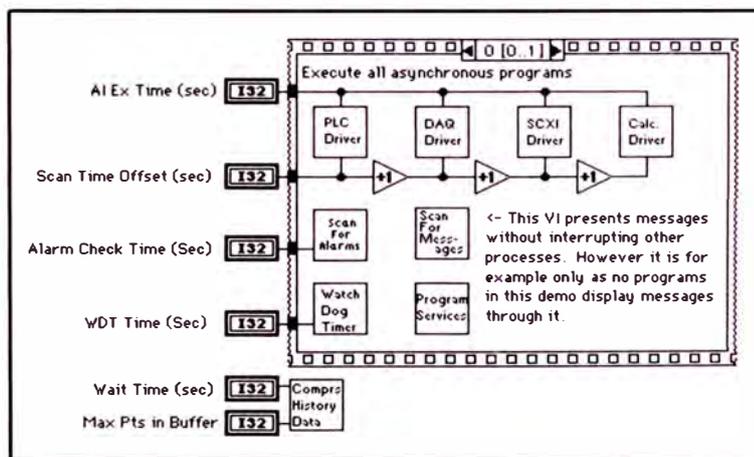


Figura 2.61 Diagrama de bloques parciales

A diferencia de los lenguajes de propósito general, LabVIEW tiene funciones específicas para acelerar el desarrollo de aplicaciones de medida, control y automatización. Proporciona herramientas muy potentes para crear aplicaciones sin líneas de texto de código. Con LabVIEW se pueden colocar objetos ya construidos para crear interfaces de usuario rápidamente como lo muestra la Figura 2.62.

2.8.2 Programación en LabVIEW

LabVIEW proporciona un lenguaje de programación de propósito general, pero también incluye librerías y funciones para el desarrollo específico de herramientas para la adquisición de datos y el control de instrumentos observados en el panel frontal de control mostrado en la Figura 2.64. Los programas escritos en LabVIEW se llaman “instrumentos virtuales” (virtual instruments (VIs)) porque por su apariencia y modo de operar pueden imitar a instrumentos reales. Sin embargo las VIs son similares a las funciones o procedimientos de los lenguajes de programación tradicionales.

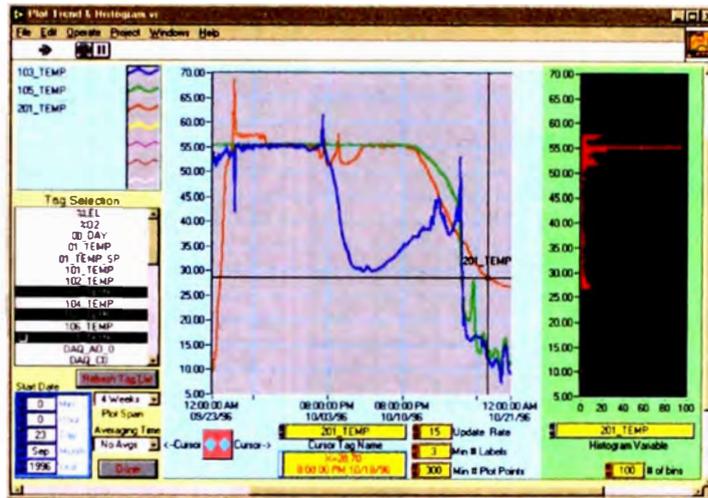


Figura 2.64 Panel frontal de control

Una VI (Instrumento Virtual) consiste en una interfaz de usuario, un diagrama de flujo que sirve como el código fuente de los lenguajes tradicionales y unas conexiones que permiten a la VI (Instrumento Virtual) comunicarse con otras VI (Instrumento Virtual) de más alto nivel, estas conexiones serían como los parámetros de E/S de una función o procedimiento. Más específicamente las VIs se estructuran como sigue:

- La interfaz de usuario de un VI (Instrumento Virtual) para interactuar con el usuario es llamada “panel frontal” (front panel) porque simula el panel de un instrumento físico. Ésta puede contener gráficas, botones, indicadores y otros controles. Los datos se introducen mediante teclado y ratón y se muestran por pantalla.
- Los VIs (Instrumentos Virtuales) reciben las instrucciones desde el llamado “diagrama de bloques” (block diagram) que se construye en el lenguaje de programación G. El diagrama de bloques es el código de la VI (Instrumento Virtual).
- Los VIs (Instrumentos Virtuales) son jerárquicos y modulares y se pueden usar como un solo programa o como subprogramas de otros programas (llamados en este caso subVI). El icono y las conexiones de un VI (Instrumento Virtual) funcionan como los parámetros de un programa y es por donde las VI pasan datos a sus subVI (Instrumento Virtual).

Con estas características LabVIEW promueve y consigue el concepto de programación modular, ya que se puede dividir una aplicación en una serie de tareas menos

complicadas y éstas a su vez en otras subtareas, hasta llegar a una serie de subtareas simples.

A continuación se pueden crear subVI para hacer esas subtareas y combinarlas para crear la aplicación deseada. LabVIEW suministra una cantidad casi ilimitada de herramientas de todo tipo para la construcción de una VI como lo muestra la Figura 2.65.

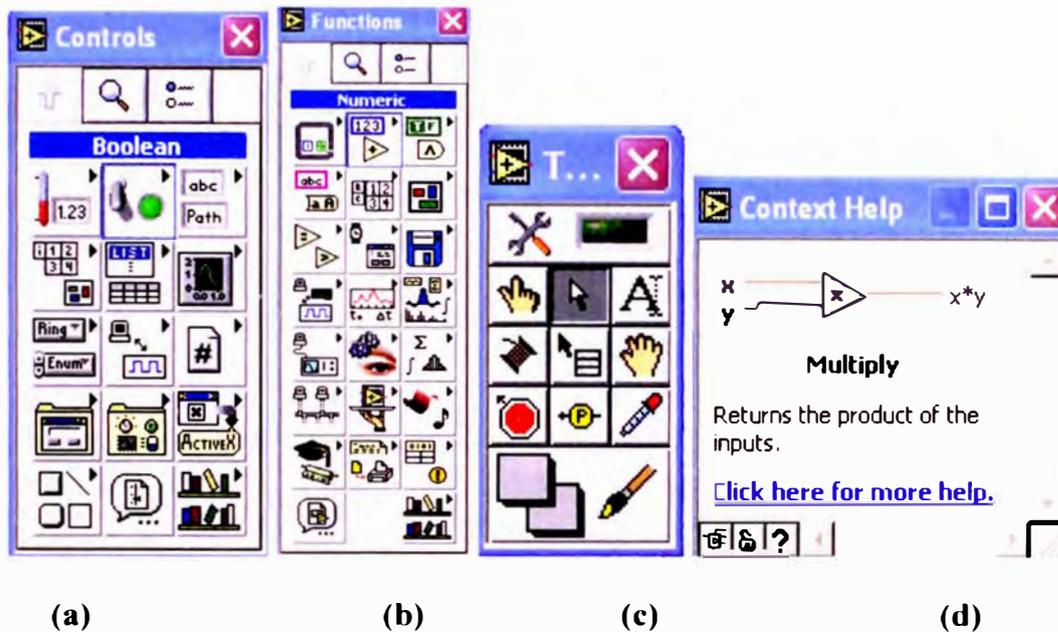


Figura 2.65 (a) Paleta de controles; (b) Paleta de funciones; (c) Paleta de herramientas; (d) Ayuda de contexto

Las herramientas más importantes son las siguientes:

- Para la creación del panel frontal se dispone de la paleta de controles (*Controls palette*), donde se pueden seleccionar los controles de la VI, tales como botones, gráficas, interruptores, indicadores.
- Para la creación del diagrama de bloques se dispone de la paleta de funciones (*Functions palette*), que dispone desde simples bucles *while*, *for*, estructuras condicionales, *case* hasta funciones complejas para tratamiento de vectores, valores numéricos, filtros.
- Una paleta común presente en todo el desarrollo de la VI es la paleta de herramientas (*Tools palette*); con ellas se pueden insertar controles en el panel frontal o dibujar las funciones en el diagrama de bloques.
- Una herramienta de gran ayuda cuando se comienza a manejar LabVIEW es la ayuda de contexto (*Context help*), que proporciona ayuda de cualquier control o función donde se sitúe el puntero del ratón.

2.9 Aplicación del sistema SCADA a las plantas de asfalto en caliente

El sistema de control es el corazón de las plantas de asfalto modernas, tan fundamental que a la fecha es obligatorio tenerlo en casi todos los países del mundo, pues asegura las características de la mezcla y minimiza la incidencia del proceso en el medio ambiente, a la vez que proporciona sensibles economías para el propietario. Consciente de estos aspectos, las tecnologías modernas han desarrollado su sistema de control mostrado en la Figura 2.66 tan completo que bien podría decirse que es, también, el cerebro de las plantas modernas de asfalto en caliente.

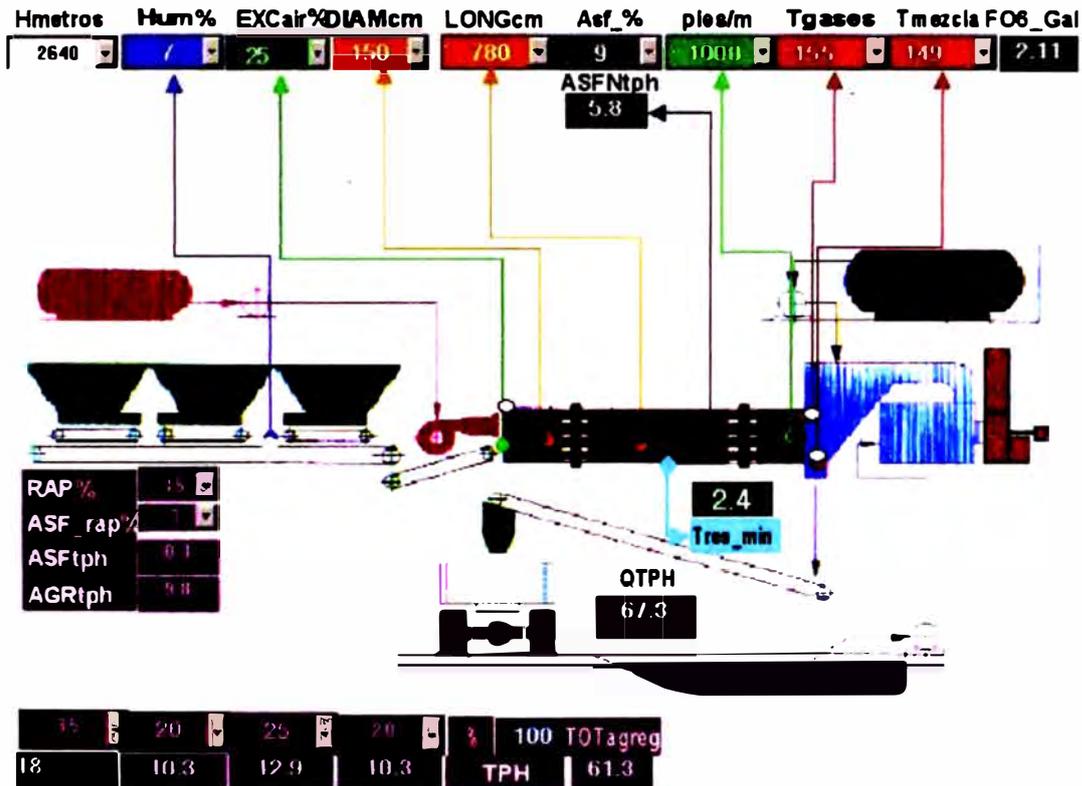


Figura 2.66 Control de procesos en las plantas de asfalto con SCADA

Un SCADA mostrado en la Figura 2.67, maneja desde un computador central toda la operación, tomando lecturas de las variables críticas y registrándolas, accionando los dispositivos de control y reportando los eventos presentados.

Asumiendo los compromisos con la calidad, las plantas de asfalto modernas están implementado el sistema de control de sus plantas con plena conciencia de los requerimientos de sus clientes de manera que puedan contar con las ventajas del automatismo desde un PC, sin los inconvenientes originados en el uso de elementos semi-automatizados, (PLC), de elevadísimos costos y que requieren una configuración previa por parte del proveedor, supeditando así la resolución de problemas a proveedores exclusivos, con sus consecuentes sobre-costos en mantenimiento.



Figura 2.67 Con el sistema SCADA es posible obtener la información de las variables críticas

2.9.1 Acciones de control

El sistema controla fundamentalmente todos los procesos de producción de la mezcla asfáltica a partir de las Variables Críticas mostradas en la Figura 2.68. Las siguientes fases indican las acciones de control a considerar:

- La composición de la mezcla, determinando con intervalos de un segundo el peso de los agregados y dosificándolos mediante el control automático de los alimentadores. Opcionalmente puede incorporarse sensores de humedad en las tolvas y efectuar automáticamente las correcciones correspondientes.
- La temperatura de la mezcla leyéndola cada segundo mediante un sensor infrarrojo y tomando los correctivos necesarios sobre el quemador o sobre el flujo de agregados para incrementarla o disminuirla.
- La calidad de la mezcla controlando estrictamente las temperaturas de gases y de asfalto para impedir la eventual oxidación de este último.
- La seguridad del equipo mediante la generación de alarmas ópticas, sonoras y de voz y acciones correctivas o de apagado cuando aparezcan anomalías que las justifiquen.

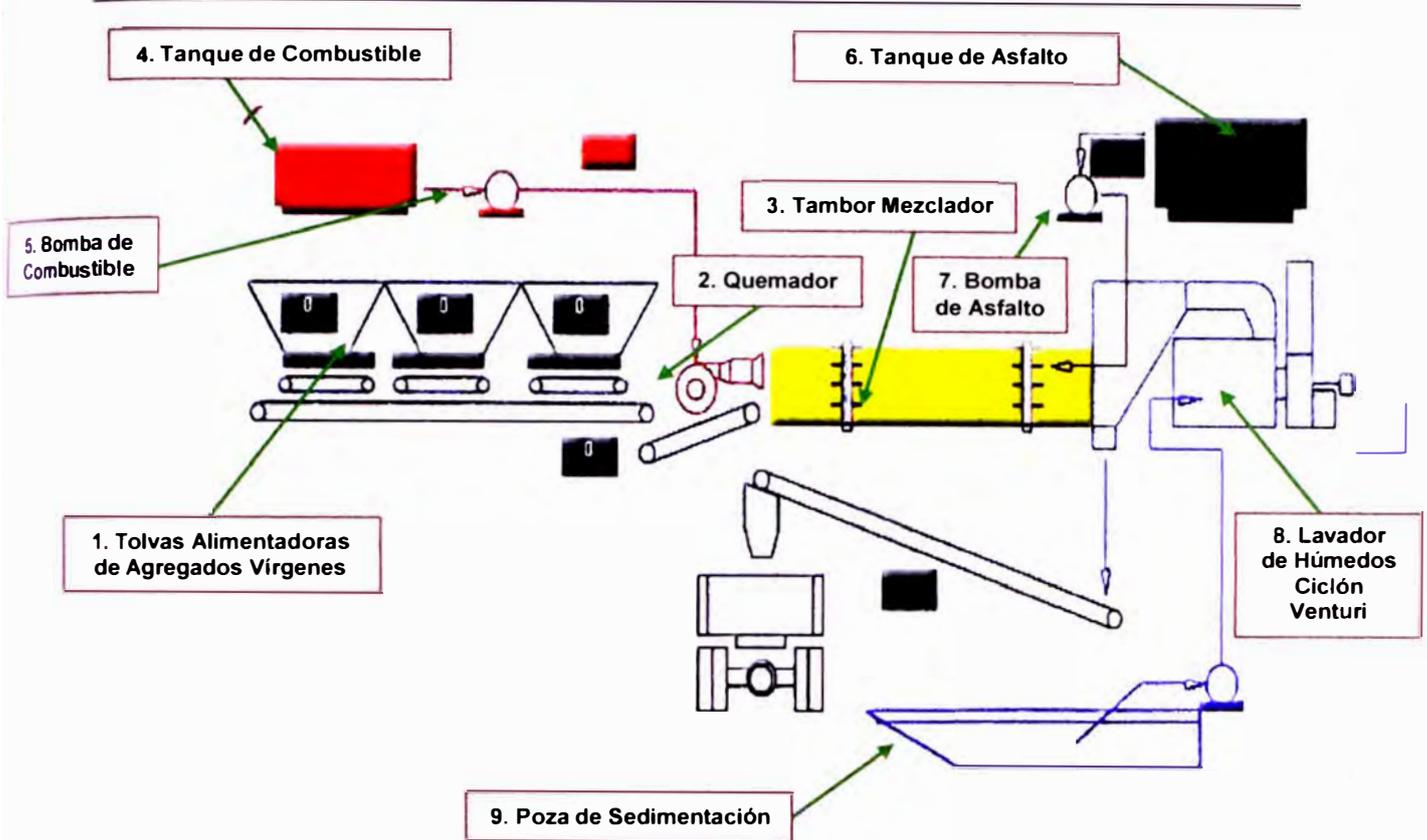


Figura 2.68 Flujograma del control de procesos de las variables críticas con SCADA

2.9.2 Capacidades obtenidas con SCADA

El número de identificación de la planta Figura 2.69, por ejemplo, indica la capacidad métrica en toneladas métricas en condiciones estándar, (5% de humedad, 6% de asfalto, temperatura de gases de 150°C y 160 metros sobre el nivel del mar). Desde luego, la capacidad varía notablemente con la humedad, la altura sobre el nivel del mar, etc.

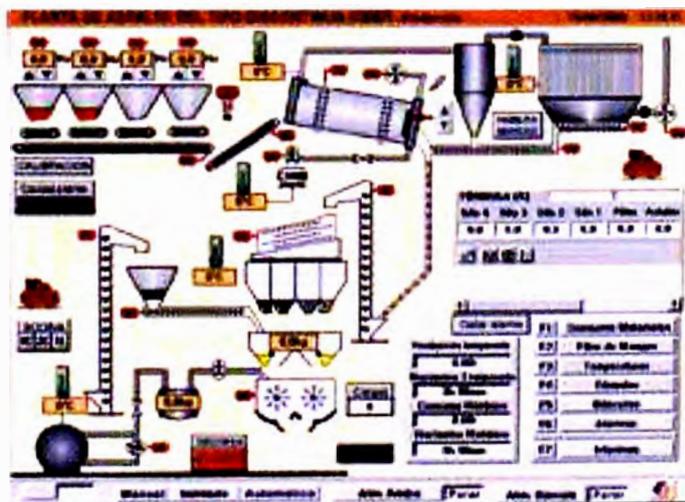


Figura 2.69 Identificación de la planta y capacidades obtenidas con el sistema de control SCADA

2.9.3 Monitoreo de los procesos con SCADA

En el monitor del PC se generan tres presentaciones que muestran los siguientes aspectos:

a. Configuración

La configuración mostrada en la Figura 2.70 se lleva a cabo por niveles, a los cuales solo tienen acceso funcionarios autorizados e identificados con contraseñas, quienes, de acuerdo con su rango pueden ajustar con sólo un “clic” composiciones, temperaturas, humedad, producciones, tiempos y cualesquiera otras de las más de 150 variables que controlan el sistema mostrado en la Figura 2.71. Esta pormenorizada abundancia de puntos de control permite colocar la planta en condiciones de operación notablemente precisas, que garantizan un funcionamiento económico, limpio y de alta eficiencia.



Figura 2.70 Configuración del tablero de comando de la planta de asfalto CIBER ubicada en Cajamarca, por los Ing°. Juan Carlos Ubillus e Ing°. Hugo Miranda Tejada



Figura 2.71 Actualización de las variables del tablero de comando con SCADA

b. Arranque

Inicia el proceso de arranque de la planta de asfalto accionando en la barra de herramientas e iconos con los siguientes comandos:

- Se personaliza la operación a través de contraseñas y fotografías, permitiendo al operador un fácil acceso al equipo y responsabilizando totalmente del funcionamiento de la planta.
- Se calcula la máxima producción alcanzable en las condiciones de trabajo y se señala la producción objetivo de acuerdo con la configuración establecida.
- Se registran existencias de combustible y asfalto.
- Se reporta la existencia de condiciones mínimas para operar.
- Se inicia con el arranque de la planta.

c. Pantalla de trabajo

La pantalla mostrada en la Figura 2.72, permanece operativa durante la operación de la planta y en ella se observan la siguiente información:

- Diagrama amigable animado que señala los componentes que están en movimiento y las cantidades instantáneas de agregados, mezcla, asfalto y combustible.
- Alarmas por valores irregulares de temperaturas o ausencia de llama.
- Paradas por valores irregulares de temperaturas o ausencia de llama.
- Sistema de manejo semiautomático.
- Interruptor para apagado secuencial.

El tablero registra las siguientes variables:

- Secuencia de arranque.
- Temperaturas programadas de asfalto, combustible, mezcla y gases.
- Temperaturas actuales de asfalto, combustible, gases y mezcla.
- Estado de fotoceldas.
- Peso de agregados secos.
- Toneladas consumidas de cada agregado.
- Toneladas producidas de mezcla.
- Consumo de asfalto.
- Consumo de combustible.

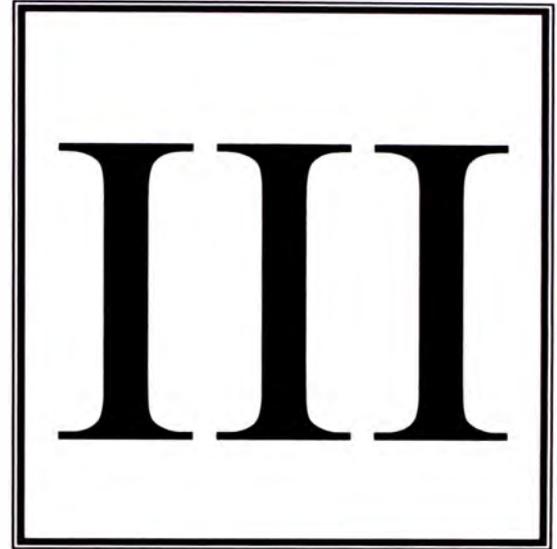
- Velocidad de los alimentadores.
- Velocidad de la bomba de asfalto.
- Porcentaje de apertura de la válvula de asfalto.
- Porcentaje de apertura del dámper del exhaustor.



Figura 2.72 Pantalla operativa registrando los procesos de producción de mezcla y adquisición de datos con SCADA



CAPÍTULO



MONTAJE DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE DE PRODUCCIÓN CONTINUA DE TAMBOR MEZCLADOR

Se debe hacer todo tan sencillo como sea posible, pero no más sencillo.

ALBERT EINSTEIN

CAPÍTULO III

MONTAJE DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE DE PRODUCCIÓN CONTINUA DE TAMBOR MEZCLADOR

3.1 Estado del arte de las plantas de asfalto de tambor mezclador

Según el Centro Nacional para la Tecnología del Asfalto (NCAT) creado en 1,986 por acuerdo de la Asociación Nacional del Pavimento de Asfalto (NAPA), señala que en los E.U.A hay 6'440,000 kilómetros (4 millones de millas) de caminos y carreteras. Cerca de 3'540,000 kilómetros (2.2 millones de millas) están pavimentadas. El 96% de esas millas es decir 3'400,000 kilómetros (2.11 millones de millas) están pavimentadas con asfalto. Anualmente se colocan entre 500 millones y 525 millones de toneladas de asfalto en caliente por año lo que representa un volumen per cápita de dos toneladas por habitante promedio.

También la Administración Federal de Carreteras FHWA indica que cerca de 100 millones de toneladas de pavimento asfáltico se remueven anualmente en la reconstrucción de carreteras. De ese volumen, el 80% u 80 millones de toneladas son recicladas. Ninguna otra industria en el mundo recicla más de su propio producto (asfalto reciclado) que la industria del asfalto. La industria del asfalto caliente en los E.U.A emplea 300,000 personas directamente y otras 600,000 personas indirectamente, siendo el valor de la inversión aproximadamente en 20,000 millones de dólares al año. Se calcula que están operando de 2,500 a 3,000 batch plants y de 2,000 a 2,500 plantas de asfalto continuas. La Tabla 3.1 muestra la producción de mezclas asfálticas en el periodo 1,996 y 2,001 en distintos países.

PRODUCCIÓN TOTAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE 1,996 A 2,001						
(en millones de toneladas)						
PAISES	1996	1997	1998	1999	2000	2001
ALEMANIA	62.0	65.0	63.5	68.5	65.0	63.0
ITALIA	37.0	39.8	40.9	41.0	37.3	39.8
FRANCIA	36.7	38.6	38.0	39.5	39.9	40.5
REINO UNIDO	29.3	27.5	27.5	26.0	25.5	26.5
ESPAÑA	27.3	23.9	25.7	25.7	30.0	30.0
POLONIA	7.5	8.0	8.0	10.0	11.6	11.2
AUSTRIA	6.4	6.1	6.5	6.5	5.9	9.5
PORTUGAL	5.9	8.1	9.5	7.7	5.6	5.5
SUECIA	5.8	5.3	6.3	7.3	7.2	6.7
RESTO DE EUROPA	48.5	50.5	63.1	65.2	65.4	64.2
TOTAL EUROPA	266.4	272.8	289.0	297.4	293.4	296.9
U.S.A	475.0	500.0	515.0	600.0	590.0	572.0
JAPON	78.2	75.1	70.1	71.4	71.0	69.4
AUSTRALIA	6.4	6.6	6.7	7.0	6.5	6.7
ISRAEL	5.1	5.2	5.3	5.3	5.1	5.6

Tabla 3.1 Producción de mezclas asfálticas en distintos países

Fuente EAPA 2002

La Tabla 3.2 presenta el número de plantas de asfalto tanto batch plants como plantas continuas en distintos países.

NÚMERO DE PLANTAS DE ASFALTO						
PAISES	PLANTAS ESTACIONARIAS		PLANTAS MÓVILES		PLANTAS EQUIPADAS CON SISTEMA DE RECICLAJE	
	2000	2001	2000	2001	2000	2001
ALEMANIA	740	740	10	5	700	700
ITALIA	650	650	15	15	140	150
FRANCIA	401	404	96	100	5	5
POLONIA	350	300	7	20	12	14
ESPAÑA	300	300	120	120	--	--
REINO UNIDO	300	300	10	10	--	--
TURQUIA	201	215	27	27	--	--
AUSTRIA	115	130	0	0	12	3
SUIZA	127	129	1	2	30	35
REPUBLICA CHECA	107	105	2	2	40	40
RESTO DE EUROPA	827	781	246	359	220	218
TOTAL EUROPA	4,118	4,054	534	660	1,159	1,165
JAPON	1,477	1,469	22	22	1,262	1,216
AUSTRALIA	106	105	8	9	20	22
ESTADOS UNIDOS	2,200	2,300	1,500	1,600	1,300	1,500

Tabla 3.2 Número de plantas de asfalto en algunos países

Fuente EAPA 2002

En el Perú se tiene que, según el "Plan de Desarrollo de la Infraestructura Vial" MTC 1,999 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones establece que la Red Vial Nacional, Departamental y Vecinal es de 73,384 kilómetros, solamente el 18.3 % (13,427 kilómetros) lo que representa un volumen per cápita de 0.19 toneladas por habitante en total. Se estima que están operando entre 80 a 90 plantas de asfalto en caliente.

Inicialmente, las plantas de producción por pesadas o batch plants siempre han incluido un secador de contraflujo para secar el agregado. Este método de secado ha demostrado ser el de menor costo porque generaba las temperaturas de escape más bajas. Las instalaciones de plantas de producción por pesadas producen mezclas de alta calidad y son capaces de alterar la mezcla en volúmenes tan pequeños como la mitad de la carga de un camión. El único problema que presentan estas plantas es la cantidad de mantenimiento que su torre y elevador de agregados requieren para una correcta operación.

Debido al mantenimiento asociado con las plantas de producción por pesadas o batch plants, los ingenieros buscaron maneras de reducir estos costos y así llegaron a la conclusión de que era necesario tener un mezclador secador de uso continuo. Las primeras instalaciones de secador mezclador eran de flujo paralelo y se anunciaban como plantas de asfalto de baja temperatura y exentas de polvo.

Cuando surgió este tipo de plantas, el control de la contaminación ya era un problema significativo de la industria. Estas plantas ayudaron a resolver algunos de los problemas

de mantenimiento asociados con la planta de producción por pesadas al carecer de la sección de la torre. Los secadores mezcladores de flujo paralelo supuestamente permitían que la temperatura de la mezcla fuera más baja, lo cual reduciría los costos del secado.

En consecuencia, se descubrió que para producir una mezcla de igual calidad que aquella de las plantas de producción por pesadas o batch plants era necesario elevar la temperatura a 149°C la misma temperatura de mezcla usada en las plantas de producción por pesadas. Esto obligó a instalar el mismo equipo de control de contaminación del aire utilizado en estos tipos de plantas.

Durante la década de los años 1,970, las mezcladoras a tambor para asfalto progresaron desde un estado experimental primigenio hasta obtener plantas más eficientes con mejor tecnología. Una de las empresas que ofreció mayores aportes e innovación tecnológica fue Boeing Construction Equipment Company a Subsidiary of Boeing.

En el año 1,973 Boeing lanzó al mercado cinco modelos de Plantas de Asfalto con tambor mezclador con capacidades desde 70 tph hasta 780 tph tal como lo muestra la Foto 3.1, era una manera sencilla y económica para producir mezclas asfálticas en caliente.



Foto 3.1 *Planta de asfalto de tambor mezclador de la marca BOEING*

Este tipo de planta de tenía varias ventajas respecto a otras plantas de asfalto por las siguientes razones:

- La planta Boeing relativamente costaba menos al comprarla, armarla, operarla y mantenerla porque tenía menos piezas de equipo.
- El sencillo procedimiento en la reducción de fases permitía producir más asfalto en el mismo tiempo.
- La mezcladora a tambor de Boeing era fácil de operar y mantener.
- Era portátil, con menos piezas que se desarmaban y armaban con facilidad.
- Nuevo diseño en el Sistema de Control de la Combustión.

El proceso de producción de mezclas asfálticas con las Plantas Boeing se reducía a 5 fases respecto a 8 fases de otras plantas típicas.

Mediante el sistema de tambor mezclador presentado en la Foto 3.2, toda la mezcla se hacía dentro del tambor, por lo que se eliminó las torres de cribado, elevadores en

caliente, amasadoras de paletas y cámaras de filtros de bolsas o mangas como son las batch plantas. Su portabilidad, transporte, montaje e instalación eran muy aceptables.



Foto 3.2 Planta de asfalto BOEING modelo MS 200 producción 270 t/h

Las Plantas Boeing utilizaban el método de reciclado de calentamiento directo, para lo cual empleaban el Sistema de Control de Combustión patentizado como PYROCONE mostrado en la Figura 3.3, permitían reciclar asfalto desde el 60% hasta el 100% con las tolvas de agregados en frío.

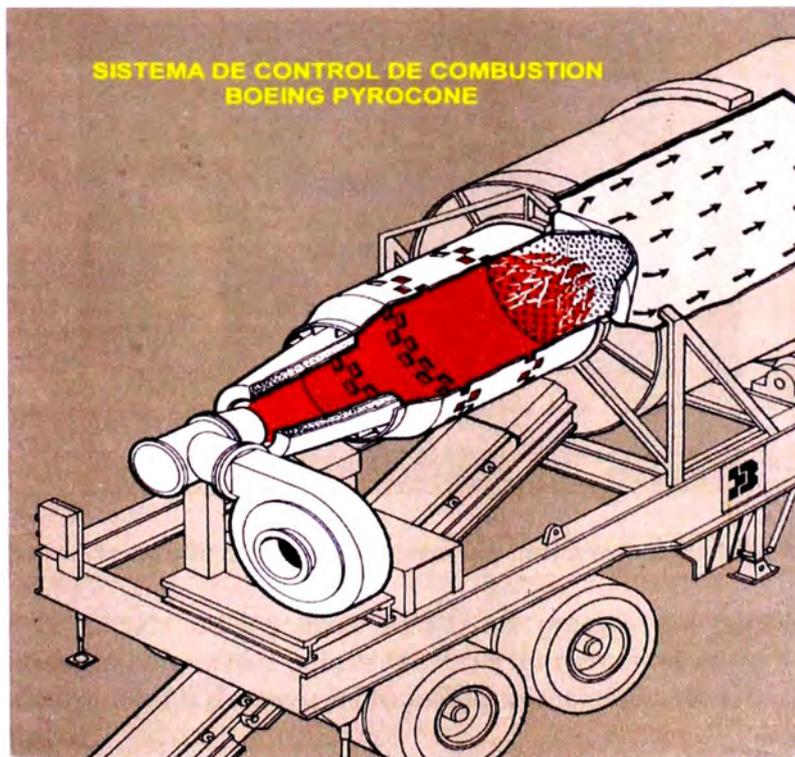


Foto 3.3 Sistema de control de combustión PYROCONE de BOEING

La estructura interna del tambor mezclador y las temperaturas que se generan en su interior se muestran en la Figura 3.4.



Figura 3.4 Estructura interna del tambor mezclador BOEING

Las otras plantas con antigua tecnología no eran eficientes en el control y tratamiento de las emisiones y nivel de particulados como lo muestra la Foto 3.5 debido a que no disponían de sistemas colectores de polvos o finos como los venturi o filtros de mangas.

Cuando aparecieron en el mercado este tipo de plantas antes del año 1,973 los Códigos o Normas en materia ambiental no eran exigentes en los Estados Unidos o en todo caso no existía una Ley que regule el nivel de contaminación o polución.



Foto 3.5 Planta de asfalto antigua en operación emitiendo altos niveles de polución

Al principio de la década de los años 1,980, los precios del petróleo empezaron a aumentar. La industria comenzó a buscar maneras de reducir el costo de su producto, lo cual llevó a la incorporación de pavimento asfáltico reciclado (RAP) a la mezcla, cerca del centro del tambor.

Esto se lograba ya sea a través de una entrada al interior del tambor, o por medio de un transportador en el interior del tambor, lo cual permitía sustituir un porcentaje de

material virgen con material reciclado. La mezcla resultante era de igual calidad que aquella producida con 100% de material virgen y era más barata.

Sin embargo, el uso de RAP generó una variedad de problemas. La humedad, los aceites en el RAP y el aceite liviano en el asfalto virgen, que es más suave que lo normal, causaban la generación de humo al introducir este material en la corriente de gas de alta temperatura. Se tomó un número de medidas para intentar reducir la temperatura en el tambor de modo que se eliminara el humo.

El ingreso del material reciclado se desplazó hacia el extremo de descarga, se ajustaron las paletas, se alteró la inclinación del tambor, y cosas por el estilo. Por tanto, ninguna de estas soluciones resolvió completamente el problema de la generación de humo.

A inicios de 1,980 la empresa Barber-Greene, con instalaciones en Aurora, Illinois, E.U.A, presentó al mercado las Plantas de Asfalto Termo-Mezcladoras de Zona Doble Foto 3.6, las cuales producían mezclas asfálticas en caliente de alta calidad. Ofrecían varios modelos desde 55 hasta 700 t/h.

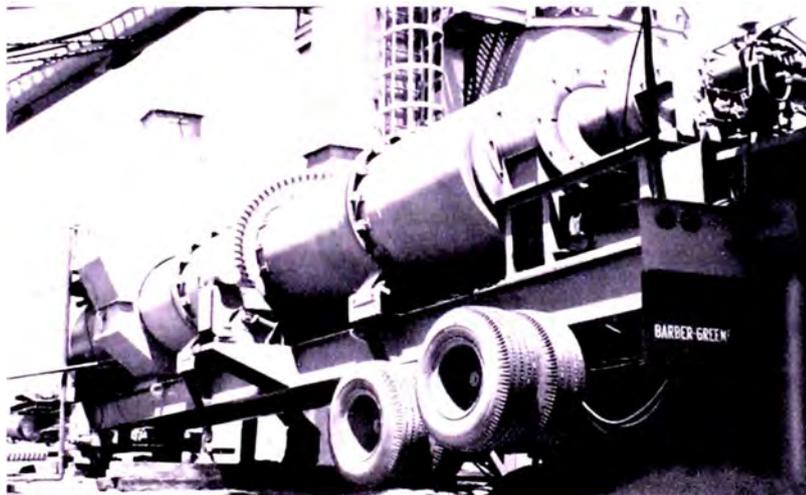


Foto 3.6 Planta de asfalto Termo-Mezcladora BARBER GREENE

Las plantas de asfalto de producción continua a tambor mezclador siguieron progresando en lo que respecta a la tecnología ofreciendo importantes contribuciones a la industria de la pavimentación asfáltica. Actualmente, en los E.U.A, Canadá, Europa y América Latina, las mezcladoras a tambor dominan el mercado de las plantas asfálticas y responden por el 95% de todas las ventas de plantas de asfalto nuevas.

La mezcladora a tambor otorga muchos beneficios sobre la planta convencional por lotes o batch plant. Estos benéficos pueden entenderse mejor cuando se analizan y se clasifican en las siguientes categorías básicas.

1. Ventajas de Equipo.
2. Ventajas de Proceso.
3. Ventajas de Reciclado.

1. Ventajas de equipo

Las ventajas de equipo nacen fundamentalmente del hecho de que el sistema de mezcladora a tambor es más sencillo y requiere menos cantidad de equipo que la planta convencional por lotes o batch plant. En el sistema de mezcla a tambor todo el mezclado se hace dentro del mismo tambor, eliminando con ello la necesidad de torres de tamizado, elevadores calientes y amasadoras.

Tampoco suele necesitarse normalmente cámaras de filtración debido a que la mezcladora a tambor captura la mayoría de las partículas finas de mineral en el tambor mismo.

Las ventajas de equipo se traducen en economías en dinero provenientes de una menor inversión de capital, menores costos de movilización y menores costos de operación. Al eliminar la necesidad de costosos elevadores calientes, torres de criba, amasadoras y cámaras de filtración, el precio inicial de compra de una mezcladora a tambor es aproximadamente un 35% menor que el de una batch plant convencional de la misma capacidad.

En cuanto a la transportabilidad, una mezcladora a tambor representa la mejor solución. Por ejemplo un departamento de carreteras de una provincia del Canadá trasladó su mezcladora a tambor cincuenta veces durante una sola temporada de ocho meses.

Los costos de movilización son 35% menores con la mezcladora tambor debido a su sencillez y a sus características de diseño de alta transportabilidad. El menor número de piezas de equipo para desarmar, transportar y montar. Los costos de operación también son significativamente más bajos con la mezcladora a tambor. El consumo de fuerza eléctrica motriz se reduce en un 25% debido a que hay menos motores eléctricos moviendo menos piezas de equipo.

Los costos de mantenimiento se reducen aproximadamente en un 50% debido a que hay menos componentes sujetos a desgaste en el sistema de mezcladora a tambor. Los costos de mano de obra se reducen sustancialmente debido a que se necesitan menos personas para operar la planta. Además se reducen los costos de combustibles debido a que la mezcladora a tambor utiliza el combustible de manera más eficiente.

2. Ventajas del proceso de producción de mezcla asfáltica

Todas las mezcladoras a tambor calientan y secan el agregado, además mezclan el agregado con el asfalto líquido dentro del tambor. Presenta dos zonas claramente definidas:

- Zona de Ebullición.
- Zona de Mezclado.

El calentamiento y el secado del agregado se logran en tres pasos básicos dentro de la mezcladora de tambor como se ilustra en la Figura 3.7.

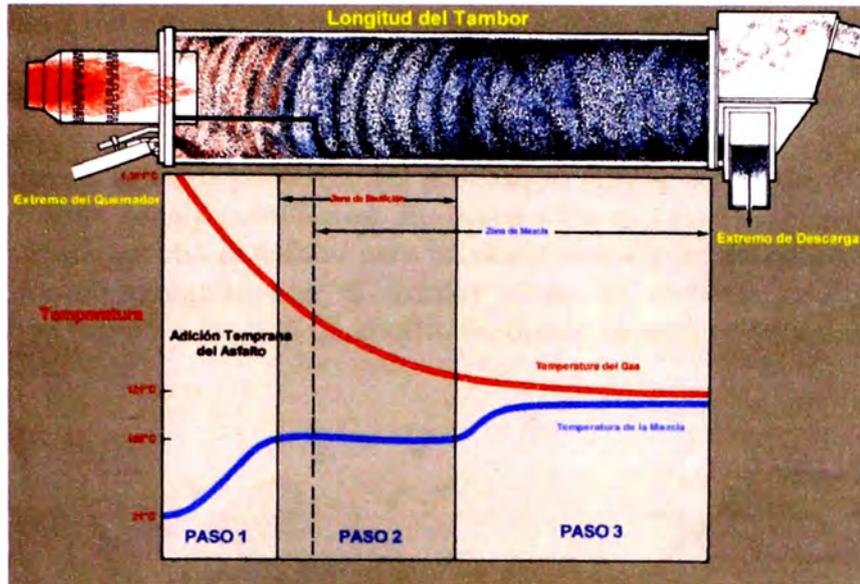


Figura 3.7 Pasos básicos para el calentamiento y secado de los agregados en el tambor mezclador

PASO 1. El agregado entra en la mezcladora a tambor a temperatura ambiente, 21°C (70°F). Inmediatamente, la llama del quemador transfiere calor al agregado, elevando la temperatura al punto de ebullición del agua, 100°C (212°F).

PASO 2. Una vez que el agregado llega a la temperatura de ebullición del agua, la energía calorífica de la llama del quemador y los gases de combustión calientes secan el agregado haciendo hervir y evaporando la humedad de superficie y la humedad interna, y haciendo que la temperatura del agregado se mantenga constante a 100°C (212°F).

PASO 3. Una vez que la humedad de superficie y la mayor parte de la humedad interior son retiradas del agregado, los gases de combustión calientes elevan la temperatura del agregado al nivel deseado de descarga.

El calentamiento y secado del agregado es básicamente el mismo en todas las mezcladoras a tambor, pero existen dos maneras críticamente diferentes de añadir el asfalto al proceso, ellas son:

- Añadir el asfalto en etapas temprana del proceso.
- Añadir el asfalto en etapas posteriores el proceso.

Ambos métodos producen una mezcla de alta calidad; sin embargo, mientras más temprano se añada el asfalto, tanto mayores son las ventajas. Las ventajas que se derivan del proceso de mezclado de tambor pueden agruparse en cuatro categorías básicas:

1. A temperatura bajas de mezclado mayor cobertura en el tambor.
2. Consumo de combustible reducido.
3. Alta calidad de la mezcla.
4. Contaminación atmosférica mínima.

En la mayoría de los procesos de mezclado a tambor, el asfalto se añade en la zona de ebullición (Paso 2 del proceso de calentamiento y secado del agregado). Como se indica en la Figura 3.7, el añadir el asfalto en etapa temprana del proceso significa añadir asfalto a la primera parte de la zona de ebullición.

El añadir asfalto en la etapa posterior del proceso se refiere a introducir el asfalto en la parte posterior de la zona de ebullición. En dicha zona el vapor de agua que se evapora del agregado reacciona con el asfalto para producir una acción de espuma. La acción de espuma recubre el agregado con el asfalto como lo muestra la Figura 3.8. Este recubrimiento se logra en la zona de ebullición donde la temperatura del agregado solo es de 100°C. (212°F).

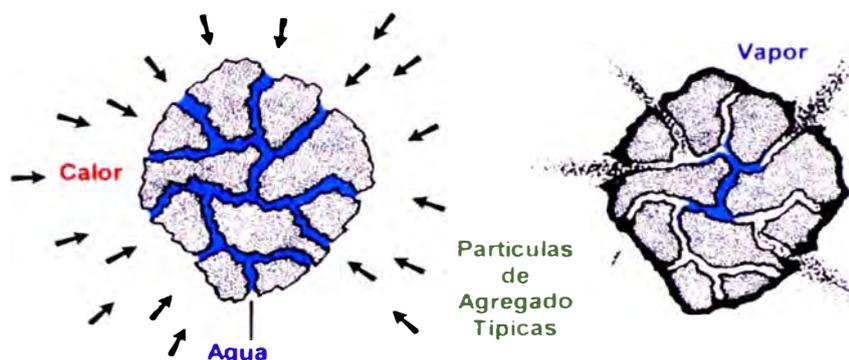


Figura 3.8 La emisión de vapor en la zona de ebullición genera espuma a la mezcla

Si el asfalto se añade temprano, el asfalto y los agregados se mezclan con la ayuda de la acción de espuma a todo lo largo de la zona de ebullición. Cuando el mezclado se efectúa a todo lo largo de la zona de ebullición, se consigue el recubrimiento total del agregado. Debido a que el recubrimiento total se logra en la zona de ebullición, la temperatura del producto final puede ser relativamente baja, vale decir, 110°C (230°F) hasta 121 °C (250°F).

Si el asfalto, se añade posteriormente al proceso, no podrá utilizarse la extensión completa de la zona de ebullición para el mezclado, y en consecuencia, para obtener un recubrimiento total la temperatura de la mezcla debe ser incrementada aproximadamente de 138°C (280°F) hasta 149°C (300°F).

El proceso de mezclado a tambor reduce el consumo de combustible. La mezcla caliente de asfalto producida en una planta de asfalto por lotes convencional se hace usualmente a 149°C (300°F) hasta 163°C (325°F). La mezcla caliente producida en mezcladoras a tambor puede hacerse a temperaturas sustancialmente más bajas. Estas temperaturas más bajas se traducen en un menor consumo de combustibles.

Mientras más baja la temperatura de la mezcla, se requiere menos combustible. Por ejemplo, añadiendo el asfalto temprano, la mezcla caliente puede elaborarse a 121°C (250°F) lo cual requerirá 20% menos de combustible que una mezcla, a 163°C (325°F). La Figura 3.9 indica la cantidad de combustible requerido para producir asfalto a varias temperaturas.

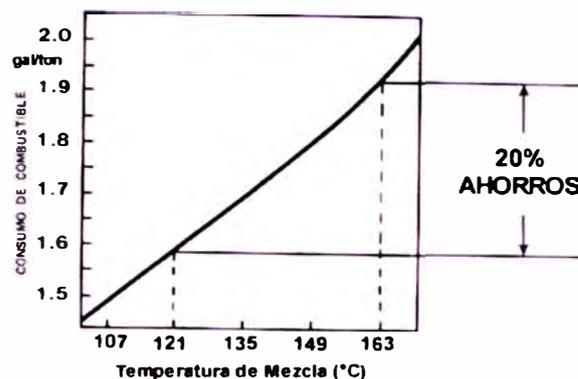


Figura 3.9 Curva consumo de combustible vs temperatura de mezcla

Los estudios publicados indican que los pavimentos producidos por plantas de asfalto de mezcladora a tambor se comportan tan eficientemente, como que aquellas mezclas producidas por las plantas convencionales de lotes o batch plants. De hecho; se ha demostrado que los pavimentos asfálticos producidos por las mezcladoras a tambor se endurecen, a un régimen mucho más lento que los producidos por las plantas por lotes convencionales. Además, la pequeña cantidad de humedad libre residual que permanece en las mezclas producidas por las mezcladoras de tambor ayuda a la compactación del pavimento.

Las mezcladoras a tambor también reducen al mínimo la contaminación atmosférica al atrapar a las partículas de polvo dentro del tambor. Las partículas de polvo se adhieren a las partículas recubiertas con asfalto y no escapan en la corriente de los gases de escape. El añadir el asfalto temprano en el proceso aumenta al máximo la cantidad de partículas de polvo atrapadas dentro de la mezcladora a tambor. La Figura 3.10, muestra la diferencia entre el Tambor Mezclador de la Boeing (que actualmente ya no está en el mercado) y los Tambores Típicos o Convencionales, del efecto que se presenta cuando el asfalto se añade temprano, las partículas finas quedan atrapadas antes de que sequen y comiencen a flotar en el aire. Además, la zona extensa de mezclado generada por la adición temprana del asfalto actúa como un filtro para recoger las partículas finas que llegan a flotar en el aire.

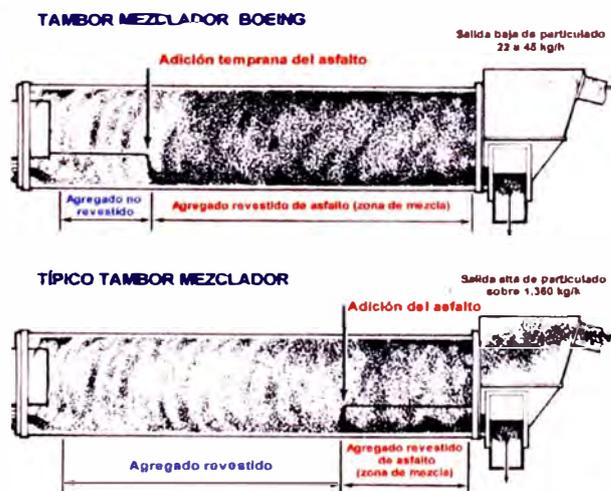


Figura 3.10 La adición temprana de asfalto reduce las emisiones de polvo

Con la adición temprana del asfalto, la producción partículas de la mezcladora a tambor es sólo de 22 a 45 kg (50 a 100 libras) por hora. Si el asfalto se añade más tarde al tambor, la producción de partículas puede alcanzar a 1,360 kg (3,000 libras) por hora o aún más. Mientras más temprano se añade el asfalto, tanto menor será la emisión de polvo de la planta. De este modo, con la adición temprana del asfalto sólo se requerirán equipos sencillos de control de contaminación atmosférica.

Las ventajas conseguidas mediante el equipo de mezcladora a tambor y las características del proceso; demuestran las ventajas de la mezcladora a tambor respecto a las plantas de lotes convencional o batch plants. Pero la pregunta que surge frente a los cambios y evolución de la tecnología de los tambores mezcladores es: ¿cuáles son las perspectivas de desarrollo futuro de la plantas de asfalto en caliente de producción continua?.

Una de las perspectivas será la flexibilidad en manejar el potencial futuro de reciclar pavimentos asfálticos viejos; otra será el control de las emisiones al medio ambiente; también será la calidad de la mezcla y los costos de producción. Más adelante se estudiará la innovación tecnológica de los tambores mezcladores.

Con los precios de energía y de asfalto cada vez más elevados, el reciclado de pavimentos asfálticos recuperados es una alternativa de ahorro de costos frente al procesado de asfalto y agregado completamente nuevos o vírgenes.

Los datos corrientes indican que el reciclado ahorra por lo menos el 25% en dinero y energía comparado a la producción estándar de mezcla caliente. Este potencial ha sido demostrado y reconocido. Dentro de pocos años, en el Perú se deberá estar procesando miles de toneladas de mezcla reciclada por año.

Existen dos métodos primordiales de procesar pavimentos asfálticos recuperados en una mezcladora a tambor ellos son:

- Calentamiento directo
- Transferencia de calor secundario.

El calentamiento directo permite que una mezcladora a tambor procese el 100% del material recuperado. En comparación, una planta de lotes convencional puede procesar un máximo de sólo 50% de material recuperado.

El procesamiento por medio de transferencia de calor secundaria está limitado a una relación máxima de reciclado del 70% de material recuperado y 30% de material virgen.

Los procesos de transferencia de calor secundaria se basan en transferir calor de agregado virgen sobrecalentado a los materiales recuperados para el reciclado. El agregado virgen se alimenta a la mezcladora a tambor en el extremo del quemador del tambor, y los materiales recuperados se alimentan al centro.

El agregado virgen se sobre calienta a 232°C (450°F) hasta 315°C (600°F) en la mitad delantera del tambor. En la mitad posterior del tambor, el agregado virgen sobre calentado transfiere su calor al material recuperado mientras se efectúa el mezclado.

Para utilizar este tipo de transferencia de calor, se requieren cantidades importantes de nuevos agregados.

Para obtener la máxima economía, la respuesta consiste en reciclar a la más alta relación posible entre material recuperado y material virgen. El método de calentamiento directo ha demostrado que se puede procesar exitosa y provechosamente el 100% del material recuperado. Como se muestra en la Figura 3.11, la simplicidad básica de la mezcladora de tambor no se altera en el proceso de calentamiento directo.

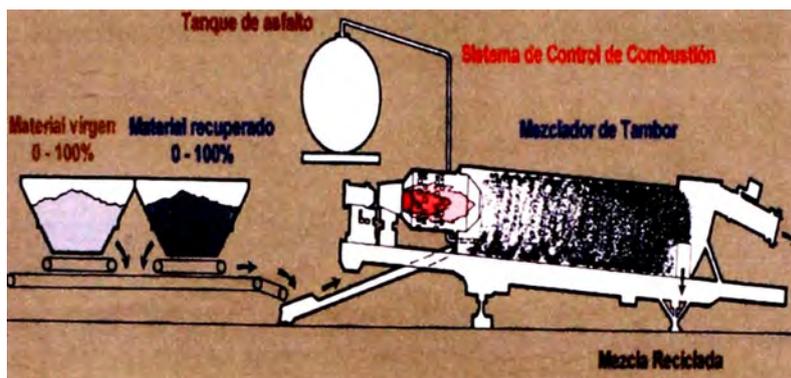


Figura 3.11 La sencillez de la mezcladora de tambor no cambia con el procedimiento de reciclado de calentamiento directo

Tanto el material recuperado como el material virgen se alimentan en el extremo frontal de la mezcladora de tambor por medio del mismo sistema de alimentación en frío utilizado para el procesamiento convencional.

Asimismo, tanto el material recuperado como los materiales vírgenes se calientan y se mezclan juntos a todo lo largo del tambor.

Se utiliza un sistema de control de combustión para contener el volumen entero de la llama y proteger el material recuperado de la llama del quemador. El sistema de control de combustión reduce el régimen de calentamiento a una décima parte del valor normal para evitar quemar el asfalto recuperado.

No se requiere agregado virgen adicional debido a que el material recuperado se calienta directamente. Debido a las ventajas descritas anteriormente, el número total de mezcladoras a tambor en operación y la cantidad total de asfalto producida por mezcladoras a tambor han aumentado drásticamente.

La información estadística referida al año 1,979 indica que se produjeron en los Estados Unidos aproximadamente 350 millones de toneladas de concreto de asfalto. De este total, cerca de 155 millones de toneladas, o sea un 45%, se produjo en mezcladoras a tambor.

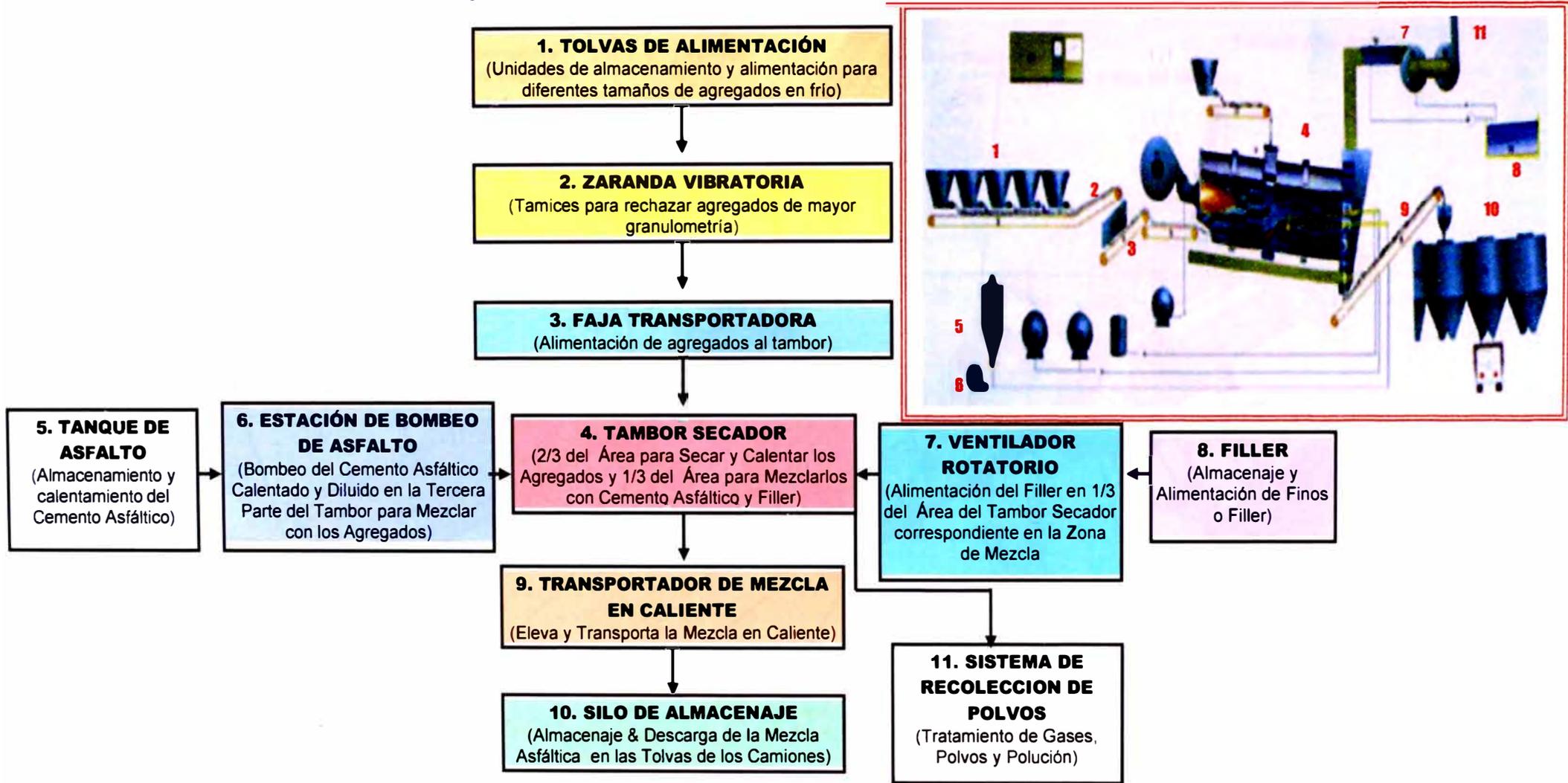
Existieron aproximadamente 600 mezcladoras a tambor en operación. Esto representaba solo el 15% del censo total de plantas de asfalto. Sin embargo, estas mezcladoras a tambor producían cerca del 50% del total de la producción de mezclas asfálticas.

Las evidencias demuestran que las mezcladoras a tambor otorgan las ventajas claves que le permiten lograr al productor una capacidad competitiva en la economía actual. En tal sentido, a continuación estaremos tratando la concepción del diseño de las plantas de asfalto en caliente a partir de los siguientes aspectos:

- Diagrama de Flujo.
- Layout de Planta.
- Desarrollo y Evolución del Tambor Mezclador.
- Proceso de Montaje de los Principales Componentes.
- Avance de la tecnología de las plantas de asfalto de producción continua en caliente considerando aquellas plantas equipadas con Double Drum Mixer, Double Barrel y Triple Barrel.

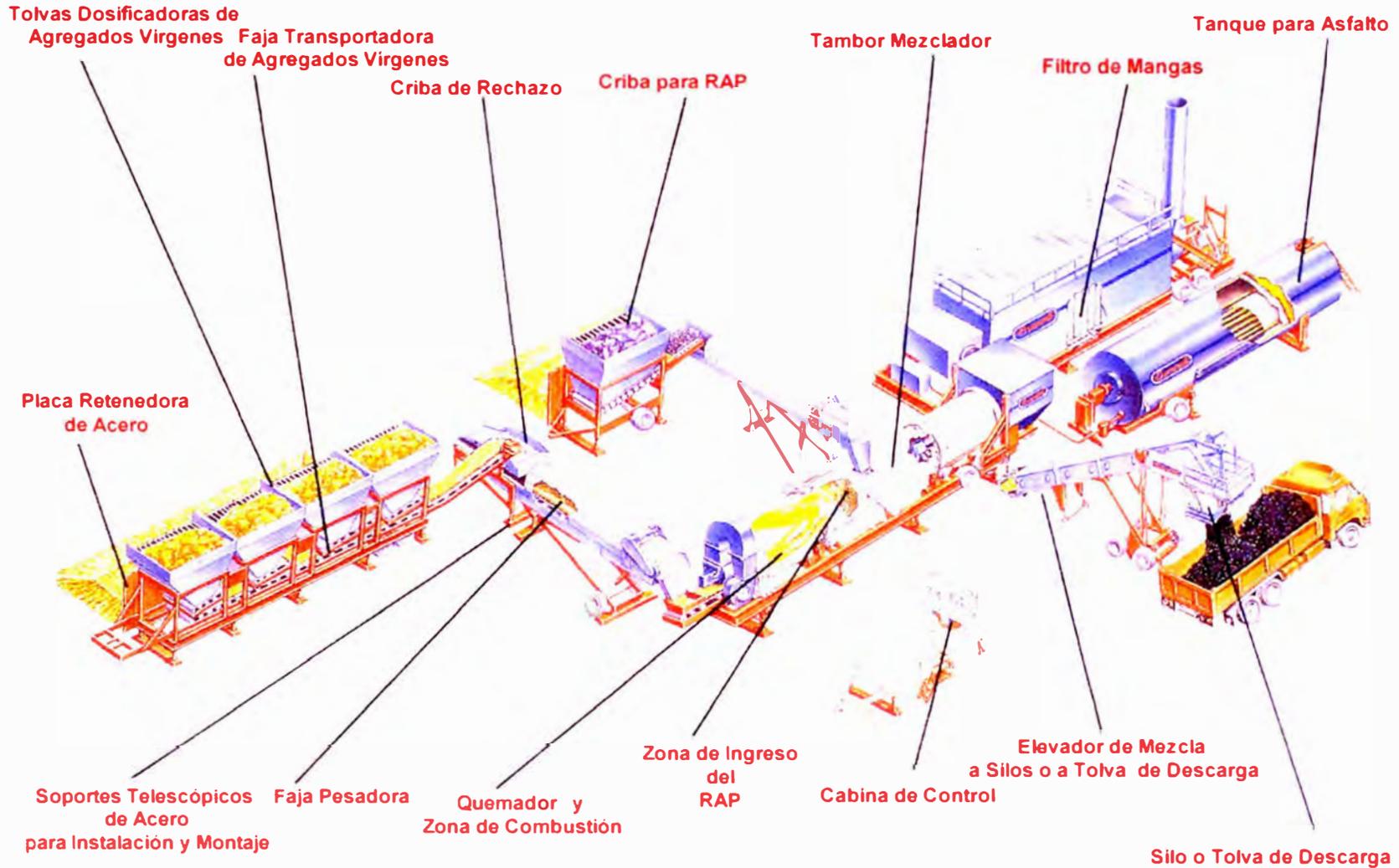
3.2 Flujograma de los procesos

DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA CON TAMBOR MEZCLADOR



3.3 Layout de una planta de asfalto en caliente de producción continua de tambor mezclador

LAYOUT TÍPICO DE UNA PLANTA DE ASFALTO DE TAMBOR MEZCLADOR



3.4 Desarrollo tecnológico del tambor mezclador

De acuerdo a todas las predicciones, la infraestructura vial de muchos países europeos y de los E.U.A pasará por un programa de reconstrucción en los próximos años. Lo mismo ocurrirá en menor dimensión en algunos países latinoamericanos como México, Brasil, Venezuela, y Colombia. Al modificar y restituir la infraestructura vial, requerirá nuevos sistemas de agua potable, de desagües, evacuación de aguas pluviales y la reposición de los peraltes y drenajes, según lo que establezca los Planes Reguladores Urbanos y la Normativa de los organismos competentes del transporte como el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Según la NAPA (National Asphalt Pavement Association) durante los últimos quince años el parque vehicular y el tránsito en muchos países latinoamericanos han crecido en aproximadamente el 95%; ello ha originado una inmensa sobrecarga del sistema vial. Por lo tanto, la mayor parte de la construcción de las nuevas vías consistirá en trabajos de ensanchamiento, mantenimiento y mejoramiento de los sistemas viales urbanos y nacionales. Para la presente década, el 50% al 70% de las mezclas asfálticas probablemente tendrán uno o más de los productos siguientes obtenidos del reciclaje:

- Concreto triturado.
- Mezclas asfálticas recicladas.
- Tejas de asfalto.
- Tierras contaminadas con aceite.
- Caucho.
- Vidrio.
- Geotextiles.
- Geosintéticos.

También, será necesaria la adición de polímeros o aditivos tales como la cal y compuestos retenedores o adhesivos, debido a que durante los próximos años se va a profundizar la crisis del petróleo por la escasez del crudo y el aumento de precios del barril ocasionando variaciones en los productos asfálticos disponibles para mezclas nuevas y de material reciclado.

El asfalto contenido en el RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) material de asfalto reciclado es más duro que aquél asfalto contenido en una en la mezcla nueva debido al envejecimiento que ocurre mientras forma parte de la superficie antigua de la carretera. Pero la calidad de la mezcla nueva a la cual se le ha incorporado un gran porcentaje de asfalto reciclado y varios otros productos reciclados tendrá que ser igual a aquélla de la mezcla virgen. Tanto el asfalto líquido viejo como el nuevo deberán distribuirse uniformemente en toda la mezcla. Esto requerirá hacer mezclas de 11°C a 17°C más calientes que lo usual para producir una viscosidad de la mezcla que permita la compactación a las densidades deseadas.

Aunque las mezclas que contienen diversos productos reciclados deben hacerse a temperaturas más elevadas, los códigos de protección del medio ambiente requerirán que las plantas de asfalto funcionen absolutamente libres de contaminantes ambientales. Aunque el Código Nacional (E.U.A) permite un 20% de opacidad mostrado en la Figura 3.12, cada vez aumenta más el número de códigos estatales y locales exigiendo 0% de

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGIA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

opacidad. El código es idéntico para todas las mezclas, indiferente a la cantidad de material reciclado que se utilice o al tipo de mezcla.

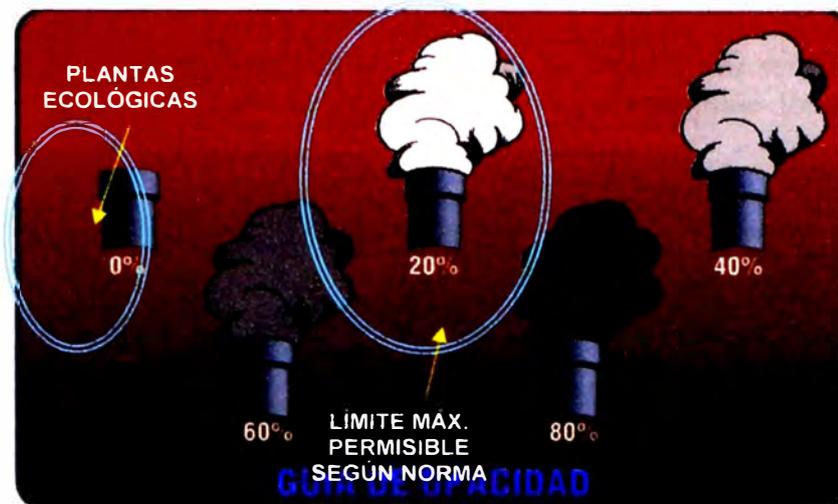


Figura 3.12 Guía con distintos porcentajes de opacidad

Actualmente, se exige que para obtener permisos urbanísticos y de instalación de las plantas, sus emisiones no solamente deben ser invisibles, sino también inodoras y su maquinaria debe funcionar silenciosamente.

En los años transcurridos desde la implementación de la Ley de Aire Puro en los E.U.A en 1,973, la aplicación de los Códigos no ha sido uniforme. Pero con el tiempo va a ser mucho más exigente. En la década de los años 1,990 se exigía a aquellas plantas de asfalto e instalaciones lejanas de los centros urbanos cumplir con los códigos más estrictos.

Para sobrevivir en un mercado crecientemente competitivo, las plantas de asfalto tendrán que incrementar la producción, deberán ser ecológicas, reducir los costos operativos y ser fáciles de mantener. Asimismo las plantas deben producir mezclas de la más alta calidad. Las mezclas deben tener el mínimo de segregación, excelente mezcla de materiales reciclados y vírgenes, capacidad de revestimiento total y espesor pelicular uniforme.

Con el transcurrir de los años, los fabricantes de plantas de asfalto han diseñado equipos para satisfacer las necesidades de la industria. Puesto que las necesidades van cambiando continuamente. En el Capítulo I se indicó que en las décadas de los años 1,950 y 1,960 las plantas de asfalto tipo dosificadoras o batch plants eran las comunes y producían mezclas de gran calidad.

Sin embargo a fines de la década de los años 1,960 y principios de los años 1,970 aparecieron los requisitos y normativa respecto a la contaminación ambiental. A la gran mayoría de las plantas dosificadoras se les limitó la producción de asfalto debido a que se exigía la instalación de equipo adicional para controlar la polución del aire. Como resultado, las plantas dosificadoras aumentaron de tamaño y por lo tanto eran más difíciles de montar, instalar y transportar.

A comienzos de la década de los años 1,970 se inventaron los silos de compensación y almacenamiento de mezcla en caliente. Esto, más la disponibilidad de controles electrónicos, tableros de comandos, condujo a la introducción de las plantas de mezcladores de tambor. Funcionaban como plantas mezcladoras continuas con tambor mezclador de flujo paralelo mostrado en la Figura 3.13. Eran más sencillas y se podían remolcar con mayor facilidad. Se creía en aquel entonces, que iban a eliminar el voluminoso equipo para controlar la polución del aire.



Figura 3.13 Mezclador de tambor de flujo paralelo

En 1,973, en los E.U.A se aprobó la Ley del Aire Puro. Esta norma requería que todas las plantas de asfalto tuvieran emisiones inferiores a un 20% de opacidad. Exigía una carga de granos particulados inferior a 1.40 granos/metro cúbico normal seco. Las emisiones de las plantas de mezcladores de tambor de modelos anteriores eran mucho menores que aquéllas de las plantas dosificadoras.

Pero los mezcladores de tambor (sin equipo de recolección) todavía no eran capaces de satisfacer los requisitos de la nueva Ley del Aire Puro. Por consiguiente, a los mezcladores de tambor se les agregaron lavadoras en húmedo y cámaras de filtros mostradas en la Figura 3.14. Esto redujo su facilidad de traslado y aumentó el costo final de las plantas.



Figura 3.14 Mezclador de tambor con cámara de filtros

Debido a la escasez y precios altos del petróleo crudo a fines de la década de los años 1,970 el reciclaje nuevamente comenzó a ser económicamente posible. Los mezcladores de tambor rápidamente se prestaron para la introducción del reciclaje. Simplemente requería perforar unos agujeros en la carcasa del tambor para poder introducir el material reciclable a la zona más fría tal como lo muestra la Figura 3.15, más allá de los gases calientes del quemador.



Figura 3.15 Mezclador de tambor con ingreso central del RAP

Asimismo como consecuencia del déficit de la oferta de petróleo en los E.U.A, tomaron la decisión de a importar petróleos crudos provenientes de todo el mundo. Las variaciones en los crudos condujeron a variaciones en la dureza de los asfaltos según lo muestra la Figura 3.16. Los materiales reciclados contenían un asfalto más duro, los cuales necesitaban asfalto virgen más blando para ser utilizados. Sin embargo, a menudo no había materiales más blandos disponibles. Esto obligó a rebajar o fluidificar el asfalto más duro con aceites más ligeros para suavizarlo en forma artificial.

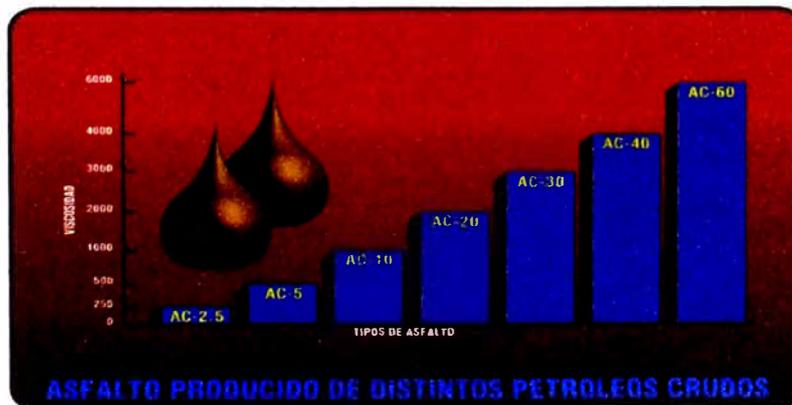


Figura 3.16 Asfalto Producido con Distintos Petróleos Crudos

El desarrollo de la fresadora mostrada en la Figura 3.17, incrementó la disponibilidad de material reciclado. Facilitó la remoción de las distintas cantidades de la carretera para nivelación, mantenimiento de las alturas libres debajo de puentes y eliminación del peso muerto en los puentes y viaductos. Cada año el porcentaje de mezcla reciclable va en aumento. También cada año los códigos sobre contaminación ambiental van haciéndose más precisos y estrictos. Ello origina el problema causado por la destilación, el cual es inherente a los tambores mezcladores clásicos o antiguos.

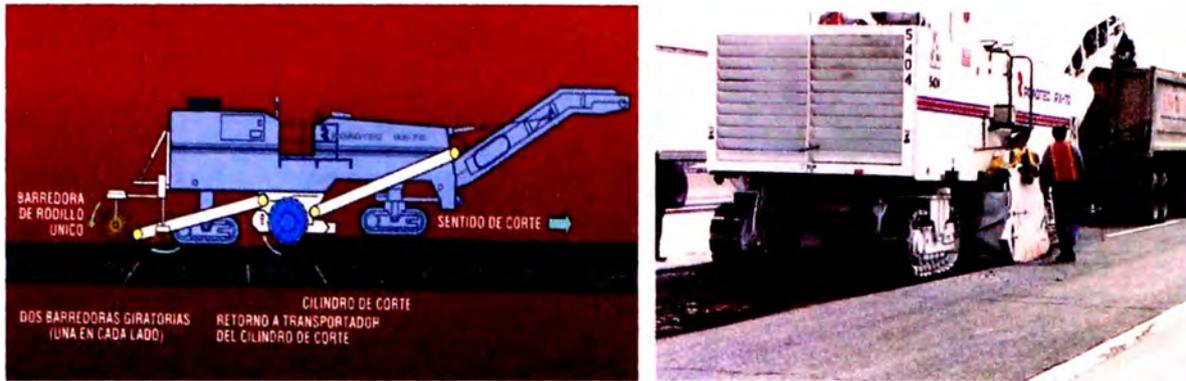


Figura 3.17 Fresadora de asfalto

En el Capítulo I se estudió que una refinería consiste en una o más columnas de destilación. Estas destilan el petróleo crudo a temperaturas de 316°C y lo separan en fracciones más pesadas y más livianas. Muchos años atrás se descubrió que el petróleo crudo podía destilarse a temperaturas mucho más bajas 149°C mediante la inyección de vapor. Un mezclador de tambor, se parece mucho a una refinería, en razón que el asfalto líquido es esparcido como una película delgada sobre un área de muchos metros cuadrados de superficie en la mezcla. Allí queda expuesto a temperaturas en el chorro de gas de aproximadamente 204°C a 232°C. La mezcla está conformada por partículas grandes y pequeñas. Las partículas pequeñas son de poco volumen pero se encuentran en gran cantidad y se calientan más rápidamente a la temperatura del chorro de gas, como se puede apreciar en la Figura 3.18.



Figura 3.18 Las partículas pequeñas se calientan más rápido

El chorro de gas contiene gases de escape y vapor. La cantidad de vapor depende de la humedad que tenga el agregado. Cuanto más alto sea el contenido de humedad en el agregado, tanto mayor será la producción de vapor como lo muestra la Figura 3.19. A mayor cantidad de vapor se producirá mayor destilación, especialmente si el asfalto ha sido suavizado artificialmente con fracciones más livianas. Estos problemas condujeron a la necesidad de construir una nueva generación de plantas de asfalto en caliente.

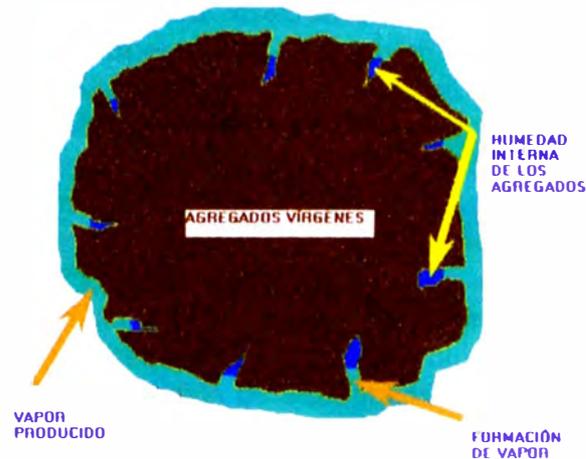


Figura 3.19 Vapor producido por la humedad de los agregados

Para mediados de la década de los años 1,980, se llegó a la conclusión de que los asfaltos vírgenes se debían introducir a la mezcla de una manera diferente porque contienen mayor cantidad de aceite ligero. Debían ser alejados del chorro de gas para evitar la exposición a los gases o vapor calientes. Esto condujo al desarrollo de la planta mezcladora DRUM MIX COATER-I (DMC) que se ilustra en la Figura 3.20. Tenía un mezclador de tambor de flujo paralelo en el cual los agregados y gases calientes se mueven en el mismo sentido. También tenían un mezclador separado en el extremo de descarga del tambor.

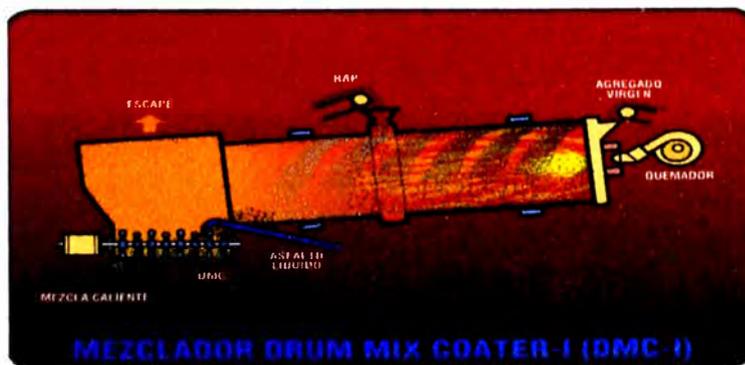


Figura 3.20 Tambor mezclador DRUM MIX COATER – I (DMC - I)

Esta planta produjo un excelente producto utilizando material reciclado. El material reciclado entraba por el centro del tambor donde se mezclaba con el agregado virgen caliente. El asfalto viejo en el proceso de reciclado se fundía, revistiendo parcialmente el agregado virgen antes de la introducción del asfalto virgen líquido cerca del extremo del tambor. Esto aseguraba que tanto el asfalto líquido virgen como el material reciclado fueran mezclados con el agregado virgen en el momento del reciclado, dando por resultado una mezcla homogénea excelente. Pero a medida que los códigos de la contaminación ambiental fueron convirtiéndose más estrictos, los problemas inherentes de estas plantas y mezcladores de tambor quedaron evidentes, ellos son:

1. Estas plantas producen temperaturas en la chimenea mucho más elevadas que aquéllas con el secador de contraflujo previamente usado con las plantas dosificadoras. (Los operadores aceptaban eso porque las plantas rendían porcentajes de producción mucho más altos). Estos porcentajes más altos se obtenían produciendo flujos de gas mucho mayores que los previamente usados en los secadores de contraflujo con plantas dosificadoras.
2. Las plantas eran muy sensibles a las temperaturas de la mezcla. La acción de procesar material reciclado, a menudo requería aumentar la temperatura de la mezcla de 6°C a 17°C. Pero al hacerlo las plantas comenzaban a emitir humo.
3. El humo o la opacidad aumentó cuando se usaron porcentajes más altos (sobre 30%) de RAP (Pavimento asfáltico recuperado). Se descubrió que incluso el material reciclado de 30 años de edad todavía contenía fracciones variables de aceite ligero. Si se rebajaba (fluidificaba) el asfalto original con un aceite ligero similar al aceite para motores, o con un aceite de termotransferencia, permanecía en el material durante todo el periodo que estaba en la carretera. Más aun el aceite que goteaba de los automóviles y camiones se sumaba al aceite en el pavimento y aparecía cuando éste se usaba como material para reciclado. Las emisiones visibles que comenzaron a ocurrir cuando se usaban porcentajes más altos de material reciclado condujeron al desarrollo del mezclador DRUM MIX COATER-II (DMC-II).

La Figura 3.21 muestra un esquema del secador mezclador Drum Mix Coater-II. El DMC-II utiliza un secador de contraflujo en vez del secador de flujo paralelo utilizado ya sea en el mezclador de tambor original o un mezclador Drum Mix Coater-I.



Figura 3.21 Tambor mezclador DRUM MIX COATER – II (DMC - II)

En el mezclador de tambor original los gases calientes y el agregado se mueven en el mismo sentido dentro del tambor. Cuando el tambor produce una mezcla a 149°C, la temperatura de salida del gas más baja obtenible en el escape del tambor es también 149°C, sin importar la longitud del tambor. Incluso en los mezcladores de tambor de flujo paralelo más modernos y eficientes de la actualidad, esta temperatura alcanza 154° a 166°C como se muestra en la Figura 3.22.

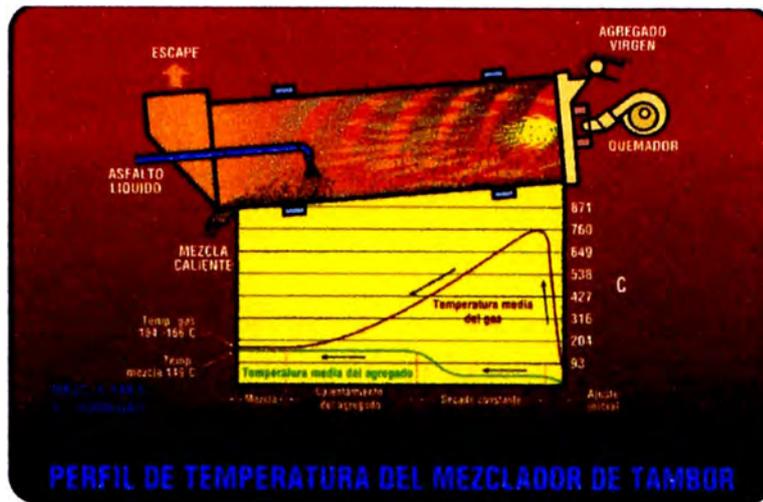


Figura 3.22 Perfil de temperatura del mezclador de tambor

La Figura 3.23 muestra un perfil de temperatura del mezclador de tambor de flujo paralelo original con una entrada central. El perfil también se aplica al mezclador Drum Mix Coater-I previamente descrito. Se instalaron listones en la parte anterior de los tambores para supercalentar el agregado virgen a una temperatura lo más alta posible y al mismo tiempo reducir el gas. Se hizo esto para reducir las temperaturas a las cuales estaban expuestas las partículas de material reciclado pequeñas y grandes. Positivamente mejoró el funcionamiento de ambos mezcladores cuando se usaba material reciclado. Pero no eliminó totalmente la destilación de vapor del material reciclado. La destilación de vapor frustró los esfuerzos par eliminar totalmente todas las emisiones visibles cuando se usaba 30% o más de material reciclado y el agregado virgen tenía niveles de humedad de 5% ó más altos.



Figura 3.23 Perfil de temperatura del mezclador de tambor con entrada central

Como se muestra en las Figura 3.21 y 3.24, el secador mezclador Drum Mix Coater-II tienen un secador de contraflujo y utiliza un mezclador en el extremo de descarga del secador. Y, como se aprecia en la Figura 3.24, el agregado virgen entra por el extremo donde se descargan los gases. Por consiguiente, los gases avanzan en una dirección mientras el agregado lo hace en sentido opuesto. Este diseño permite alcanzar temperaturas de salida del gas mucho más bajas.

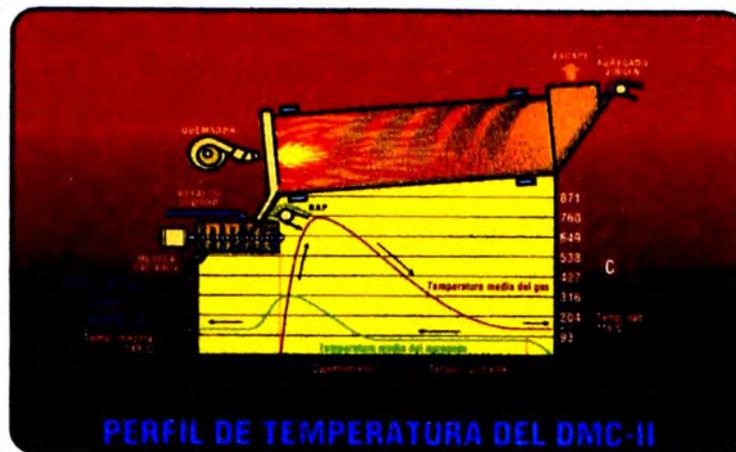


Figura 3.24 Perfil de temperatura del DMC - II

Se han alcanzado temperaturas de salida del gas tan bajas como 82°C usando lavadoras húmedas con este tipo de secador. Sin embargo, con las cámaras de filtros, las temperaturas en la salida del secador por lo general se controlan aproximadamente a 116°C. Esto impide la condensación de agua o ácidos en la cámara de filtros.

Cuando se usa gas natural o fueloil de bajo contenido de azufre, las temperaturas de salida pueden bajarse hasta 104°C. Las temperaturas más bajas permiten porcentajes de producción más altos y al mismo tiempo consumen menos combustible, una operación mucho más eficiente de la planta.

Con el secador mezclador Drum Mix Coater-II el material reciclado entra a la sección de recubrimiento o mezcla mostrado en la Figura 3.24. El agregado virgen es supercalentado. Este, a su vez, calienta los materiales reciclados.

En el mezclador de tambor de la Figura 3.23 y el DMC-I de la Figura 3.20 aproximadamente el 90% del calentamiento del material reciclado lo hace el agregado virgen y el 10% lo hacen los gases calientes. Pero en el Drum Mix Coater-II, el 100% del calentamiento del material reciclado lo hace el agregado virgen.

La principal desventaja del Drum Mix Coater-II es el tiempo corto de mezcla en el mezclador. No ocurre ninguna mezcla antes de llegar al mezclador independiente. El asfalto líquido virgen caliente, el agregado virgen y el material reciclado frío son inyectados aproximadamente en el mismo punto en el mezclador.

Por consiguiente, cuando se usa un porcentaje muy alto de material reciclado, el tiempo corto de mezcla produce una mezcla menos homogénea. Las nuevas versiones de esta planta con mezcladores dobles permiten la introducción del material reciclado antes de que se inyecte el líquido. Esto produce un producto muy similar como el obtenido por el tambor Drum Mix Coater-I.

Este tipo de planta tiene otra desventaja. La carcasa del tambor se calienta en extremo durante el supercalentamiento del agregado de 316°C a 343°C. Sin embargo, para eliminar este problema e incrementar el rendimiento, es posible enfriar por aire las carcasas mediante diversos métodos ingeniosos.

Para fines del año 1,986, se hizo evidente que en la década de los años 1,990 se requería un nuevo tipo de planta. Debía ser capaz de procesar altos porcentajes de material reciclado RAP. Asimismo debía ser capaz de producir altas temperaturas de mezcla. Tenía que funcionar sin contaminar la atmósfera con olores o humo con 0% de opacidad. Esta planta también tenía que tener un rendimiento igual o mayor que las plantas existentes. Tendría que usar fácilmente diversos productos de reciclado para hacer una mezcla de buena calidad. Estas necesidades condujeron al desarrollo final de tres nuevos tipos de mezcladores:

- Un mezclador de contraflujo con un quemador incorporado.
- Secador mezclador tipo Double Barrel.
- Secador Mezclador Triple Drum.

La Figura 3.25 muestra una versión de un mezclador de contraflujo con un quemador incorporado.



Figura 3.25 Tambor secador mezclador de contraflujo con quemador incorporado

La Figura 3.26 muestra un perfil de temperaturas en todo el mezclador. Utiliza un secador de contraflujo para secar y supercalentar el agregado. El quemador está insertado aproximadamente 4 metros en el tambor. El material reciclado es inyectado después del quemador donde se mezcla con el agregado virgen caliente y el asfalto virgen líquido.



Figura 3.26 Perfil de temperatura tambor secador mezclador de contraflujo con quemador incorporado

Pero esta planta tiene desventajas. Tiene altas temperaturas de la carcasa y tiempo corto de mezcla para los materiales reciclados y vírgenes. Más aun, es muy difícil de mantener porque el acceso a los componentes esenciales en el quemador es muy difícil.

La Figura 3.27 muestra el mismo tipo de mezclador de contraflujo con una carcasa enfriada por aire y los agujeros de inyección de aire adyacentes al quemador.

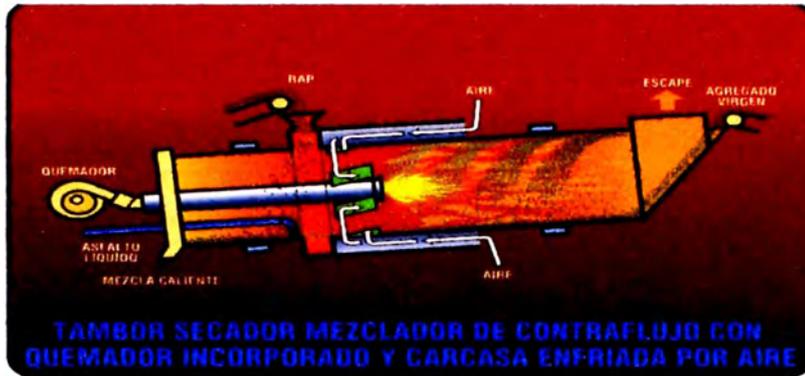


Figura 3.27 Tambor secador mezclador de contraflujo con quemador incorporado y carcasa enfriada por aire

La Figura 3.28 muestra un perfil de las temperaturas en todo el mezclador. El aire secundario para el quemador es arrastrado a través de los agujeros de inyección, eliminando así dos desventajas del mezclador mostrado en la Figura 3.25.

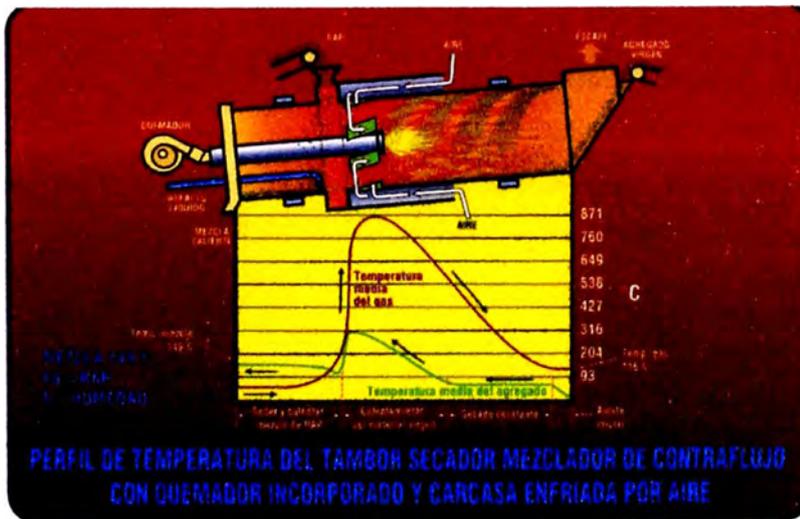


Figura 3.28 Perfil de temperatura del tambor secador mezclador de contraflujo con quemador incorporado y carcasa enfriada por aire

El hacer circular el aire secundario a través de una carcasa externa enfría el tambor y precalienta el aire para la combustión. El aire secundario precalentado aumenta el rendimiento de la planta en aproximadamente 4% en la operación continua y hasta un 8% para las operaciones intermitentes. Los agujeros permiten llegar a los componentes esenciales del quemador para los trabajos de mantenimiento.

La Figura 3.29 muestra el innovador tambor mezclador utilizando una combinación de secador de contraflujo y mezclador de tambor. Es el denominado secador mezclador tipo Double Barrel de la empresa ASTEC INDUSTRIES.

Este tipo de tambor mezclador utiliza un mezclador grande, comparable al tambor Drum Mix Coater-II de la Figura 3.21. La carcasa del tambor sirve de eje para el mezclador. La innovación de este tipo de tambor mezclador, da por resultado un tambor mezclador de 3.00 a 4.40 metros de diámetro, proporcionando un área de mezclado extremadamente grande.

Los agregados vírgenes se desplazan en contra de la dirección del chorro de gas, es decir el tambor mezclador Double Barrel de Astec es de contraflujo. La mezcla asfáltica en caliente sale por el orificio de salida en contra de la gravedad luego de haberse dosificado e inyectado el cemento asfáltico.



Figura 3.29 Tambor secador mezclador tipo Double Barrel de ASTEC

3.5 Procedimiento de montaje de la planta de asfalto

3.5.1 Organización de la administración del proyecto para la instalación de la planta de asfalto

Uno de los métodos empleados por las más importantes empresas internacionales para la administración de proyectos es la **Organización Matricial con el enfoque de Ingeniería Concurrente** mostrado en la Tabla 3.3.

Esta forma de organización requiere que en el lugar de la obra se disponga de una distribución integral la cual tiene el soporte de cada una de las funciones de la organización principal proporcionar controles estándar y mecanismos de monitoreo y evaluación del montaje de la planta de asfalto.

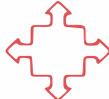
AREA GERENCIA	AREA DE OBRAS CIVILES Y CIMENTACIÓN	AREA DE MECÁNICA Y ELECTRICIDAD	AREA DE INSTRUMENTACIÓN	AREA DE MONTAJE Y PRUEBAS
GERENTE DE PROYECTO				
GERENTE DE CALIDAD				
GERENTE DE CONSTRUCCIÓN				
INGENIERO RESIDENTE				

Tabla 3.3 Organización matricial para el montaje de la planta de asfalto

La Organización Matricial, es una forma simple de administrar y gerenciar organizaciones matriciales modernas. Las ventajas del enfoque matricial ayuda a que la empresa se mantenga competitiva debido a que logra el retorno de personal con mayor experiencia. Puede lograr resultados más efectivos y eficientes al utilizar una administración dedicada al proyecto además de tener el respaldo de la organización principal con herramientas y especificaciones. El equipo es responsable único del proyecto, pero cuenta con el apoyo técnico y experiencia de la organización principal.

La organización a cargo del montaje de la planta de asfalto debe tener el enfoque de las empresas MEPC (Management Engineering Procurement Construction) Gerencia, Ingeniería, Procura y Construcción.

3.5.2 Equipo asignado al proyecto

Los profesionales y personas que están en obra tienen una dependencia de dirección del gerente de proyecto, y una relación funcional del responsable de la función específica en la organización matricial.

El equipo incluye el siguiente personal clave:

- a) Gerente de Proyectos.
- b) Gerente de Calidad.
- c) Gerente de Construcción del Proyecto.
- d) Ingeniero Residente de Puesta en Marcha del Proyecto.

a) **Gerente de proyecto**, es el responsable de la ejecución total del proyecto, sus decisiones se sustentan en los siguientes aspectos:

- Condiciones contractuales establecidas en el contrato.
- Las necesidades del cliente.
- Los criterios de las agencias regulatorias.
- Los compromisos específicos de la empresa.

b) **Gerente de calidad**, es el responsable de la calidad de cada una de las partidas de las obras civiles y electromecánicas, cumpliendo según lo que establece las normas, planos y especificaciones técnicas.

c) **Gerente de construcción del proyecto**, es el responsable de todas las actividades en el lugar del trabajo como:

- Supervisión de Mano de Obra.
- Administración de Procura (Logística de Adquisiciones) y contratos de construcción.
- Ingeniería de campo.
- Control de calidad.
- Enlace con el cliente.
- Plan de construcción.
- Estimación de costos.
- Contabilidad, recepción y custodia temporal de equipos y materiales

d) **Ingeniero residente de puesta en marcha el proyecto**, es el responsable de la ejecución de las obras civiles y electromecánicas de conformidad con los planos y especificaciones técnicas; así como de la Puesta en Marcha. Representa al contratista.

3.5.3 *Exigencia del cumplimiento de la norma ISO 9000*

La Norma ISO 9000, establece 20 elementos y requisitos que se deben implantar en la empresa cuando se quiere conseguir un certificado que pruebe la conformidad de un sistema de calidad. La Norma ISO 9000 contiene las directivas para seleccionar y utilizar las normas ISO 9001, que aseguran la calidad en las fases de diseño, desarrollo, producción, instalación y servicio de post-venta. La Norma ISO 9002 sirve para aquellas empresas que posean las mismas fases pero exceptuando la de diseño. La Norma ISO 9003 está dirigida a las empresas que sólo necesitan asegurar la calidad en la inspección y los ensayos.

Los requisitos de la Norma ISO 9001, que engloba a las otras Normas ISO son:

- La dirección de la empresa proveedora deberá definir y poner por escrito su política, sus objetivos y su compromiso en materia de calidad.
- El proveedor deberá establecer y mantener actualizado un sistema de calidad documentado.

- El proveedor deberá mantener actualizados los procedimientos para la revisión del contrato.
- El proveedor deberá establecer y mantener actualizados los procedimientos para controlar y verificar el diseño del producto.
- El proveedor deberá mantener los procedimientos para controlar los requisitos de la norma.
- El proveedor deberá asegurarse de que los productos comprados estén conformes con los requisitos especificados.
- El proveedor deberá mantener actualizados los procedimientos para la verificación, almacenamiento y mantenimiento de los productos.
- El proveedor deberá establecer y mantener actualizados los procedimientos para identificar el producto.

3.5.4 Inspección en el montaje de la planta de asfalto

Los métodos de inspección y ensayos no destructivos a ser implementados durante la fase de montaje de la planta de asfalto en caliente son:

- Inspección visual.
- Spot check.
- Partículas magnéticas.
- Rayos X.
- Rayos Gamma.
- Ultrasonido.
- Alineamiento y nivel láser.
- Sensor de vibraciones.

En lo que respecta al control preliminar de los materiales, se realizarán los siguientes ensayos destructivos de bajo costo:

- Chequeo del pandeo de elementos estructurales sometiéndolos a cargas.
- Chequeo con torquímetro de los pernos de alta resistencia.
- Probetas de soldadura para procedimientos, electrodos, soldadores.

3.5.5 Aplicación de los 8 puntos del plan de montaje de la planta de asfalto

En la fase de montaje de la planta de asfalto en caliente de producción continua con tambor mezclador de contra flujo se deberá tener en cuenta los siguientes procedimientos establecidos en el Plan de Montaje:

1. Diagramas de Gant, Pert Cpm.
2. Asignación del personal calificado.
3. Asignación de medios de transporte para el personal, alojamiento, viáticos.
4. Planos y especificaciones técnicas.
5. Procedimientos de montaje.
6. Equipos y herramientas asignados para maniobras de montaje.

7. Definición de puntos de inspección.
8. Herramientas e instrumentos de inspección.

1.- Diagramas de Gant, Pert Cpm.

La combinación del método del Camino Crítico (CPM) y de la técnica del Diagrama de Gantt constituye una herramienta eficiente para planificar y administrar proyectos y que incluye varias áreas de trabajo como el montaje de tolvas de agregado vírgenes, tambor secador, silos, filtros de mangas, tanque de asfalto, etc.

El empleo de ambas técnicas con la aplicación de softwares como MS Project, Primavera Project Planner y otros, permite que el Gerente del Proyecto tenga los medios para establecer una eficiente programación cronológica y vigilar y controlar adecuadamente el desarrollo de los trabajos del montaje industrial de la planta de asfalto.

Sobre la base a la descripción general del proyecto de instalación de la planta de asfalto en caliente, cada área de trabajo de la Gerencia de Construcción del Proyecto prepara una relación detallada de las actividades o tareas que deben realizar los profesionales y técnicos, además el cálculo de las horas-hombre necesarias.

Con esta información, el Gerente del Proyecto elabora el Cronograma de Fabricación y Cronograma de Montaje los cuales se muestran. Para este caso estamos considerando según los rendimientos obtenidos en campo las siguientes variables:

- Comienzo más Pronto (CP).
- Terminación más Pronto (TP).
- Comienzo más Tardío (CT).
- Terminación más Tardía (TT).
- Flotación Interna (FI) Holguras.

Una vez que se dispone de los detalles de tiempo, esa información se transfiere a un diagrama de barras que muestra el largo de tiempo, los tiempos de comienzo y de terminación y las flotaciones u holguras.

En los siguientes cronogramas se presentan los siguientes diagramas Gantt:

- Cronograma de fabricación de la planta de asfalto en caliente.
- Cronograma de montaje de la planta de asfalto en caliente

Se han considerado para fines de ilustración las actividades más importantes. La información que se necesita para trazar las barras de Gantt cuadro la constituyen los tiempos de comienzo más pronto de las actividades y sus respectivas duraciones, asimismo las holguras o flotación interna han sido consideradas como cero.

PROYECTO DE INGENIERÍA DE UN PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN
CRONOGRAMA DE FABRICACION DE LA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE

Elaborado por : Hugo Miranda Tejada

Fecha: 05-12-2006

Código	Descripción de Actividades	Número de días	Actividades		Detalle de Tiempo					SEMANAS							
			Precedentes	Siguientes	CP	TP	CT	TT	FT	1	2	3	4	5	6	7	8
A	Habilitación terreno 2 Hás	1	-----	B	0	1	0	1	0	■							
B	Nivelación y Compactación	1	A	C	1	2	1	2	0	■							
C	Cimentaciones para Equipos	3	A y B	D,E	2	5	2	5	0	■	■						
D	Ductos para Cables	2	B y C	M,N	5	7	5	7	0		■	■					
E	Instalación de Tolvas Agregados	2	B	F	7	9	7	9	0			■	■				
F	Fajas Transportadoras Tolvas	2	E	F,G,H	9	11	9	11	0			■	■				
G	Montaje del Tambor Mezclador	3	F	H	11	14	11	14	0				■	■			
H	Montaje del Quemador	2	G	I y L	14	16	14	16	0				■	■			
I	Instalación del Baghouse	2	G y H	L	16	18	16	18	0					■	■		
J	Instalación del Tanque de Asfalto	1	B	G y H	18	19	18	19	0						■		
K	Instalación Tanque Combustible	1	B	H	19	20	19	20	0							■	
L	Montaje de Cribas para RAP	2	B	G y H	20	22	20	22	0							■	
M	Cabina de Control	1	B	N y O	22	23	22	23	0								■
N	Instalación de Computadoras	2	M	O	23	25	23	25	0								■
O	Panel de Control	1	M	S	25	26	25	26	0								■
P	Erección de Faja Cangilones	2	B y E	Q	26	28	26	28	0								■
Q	Montaje de Silos	2	P	T	28	30	28	30	0								■
R	Ensayos, Inspección y Control	6	G, H y I	S y T	30	36	30	36	0		■	■	■	■	■	■	■
S	Prueba Final	2	R	T	36	38	36	38	0								■
T	Protocolo de Pruebas	1	T	U	38	39	38	39	0								■
U	Entrega y Recepción	1			39	40	39	40	0								■
	TOTAL DÍAS ÚTILES	40															

PROYECTO DE INGENIERÍA DE UN PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN CRONOGRAMA DE MONTAJE DE LA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE

Código	Descripción de Actividades	Número de días	Actividades		Detalle de Tiempo					MESES				
			Precedentes	Siguientes	C P	TP	CT	TT	FT	1	2	3	4	
A	Tolvas Agregados Vírgenes	5	-----	B	0	5	0	5	0	■				
B	Fajas Transportadoras	5	A	C	5	10	5	10	0	■				
C	Habilitación de Acero	3	A	D	10	13	10	13	0	■				
D	Tambor Mezclador	10	C	E	13	23	13	23	0	■	■			
E	Quemador	4	A	G	23	27	23	27	0	■				
F	Filtros de Mangas	4	D	G	27	31	27	31	0		■			
G	Carcasa del Tambor	4	A	D	31	35	31	35	0		■			
H	Tanque de Asfalto	3	A	D y E	35	38	35	38	0		■			
I	Baghouse	4	A y F	M	38	42	38	42	0			■		
J	Chasis y Estructura de Soporte	3	A	D, L y Q	42	45	42	45	0			■		
K	Tanque Combustible	3	A	E	45	48	45	48	0			■		
L	Cribas para Agregados Vírgenes y RAP	2	A	B	48	50	48	50	0			■		
M	Cabina de Control	4	B	N y O	50	54	50	54	0			■		
N	Computadoras	2	M	O	54	56	54	56	0				■	
O	Panel de Control	2	M	S	56	58	56	58	0				■	
P	Faja Cangilones y Transportadora	5	A	Q	58	63	58	63	0				■	
Q	Conos y Silos	5	P	T	63	68	63	68	0				■	
R	Ensayos, Inspección y Control	6	G, H y I	S y T	68	74	68	74	0				■	
S	Prueba Final	3	R	T	74	77	74	77	0				■	
T	Protocolo de Pruebas	2	T	U	77	79	77	79	0				■	
U	Entrega y Recepción	1			79	80	79	80	0				■	
TOTAL DÍAS ÚTILES		80												

2.- Asignación del personal calificado

Para ejecutar las actividades del montaje de la Planta de Asfalto, se tiene que calcular los rendimientos (R) y el número de horas hombre (h-h) presentados en la Tabla 3.4. Para el caso de las obras civiles se ha tomado como referencia los rendimientos para edificaciones de la CAPECO y para el resto de partidas se ha tomado los rendimientos de Plantas Industriales.

a. Personal técnico

DESCRIPCION DE PARTIDA	RENDIMIENTO x METRADO	TOTAL hh
Movimiento de Tierras	48 hh /há x 2 há	96
Cimentaciones y Ductos	45 hh /m ³ x 89 m ³	4,005
Montaje de Tolvas en Frío y RAP	100 hh /tn x 11.5 tn	1,150
Montaje de Tambor Mezclador	200 hh / tn x 26.5 tn	5,300
Montaje del Filtro de Mangas	100 hh / tn x 15 tn	1,500
Tanques de Asfalto y Combustible	80 hh / tn x 14 tn	1,120
Estructuras Metálicas	130 hh / tn x 8 tn	1,040
Montaje de Silos	100 hh /tn x 8 tn	800
Cabina de Control	50 hh /tn x 1 tn	50
	TOTAL hh	15,061

Tabla 3.4 Rendimiento promedio

Según la programación de obra se tiene la siguiente información:

- Duración de la Montaje de la Planta de Asfalto: 2 meses
- Número de días de trabajo por mes: 22 días
- Número de horas de trabajo diario: 10 horas

Entonces se tiene: $2 \times 22 \times 10 = 1,100$ horas hombre (hh)

$$REQUERIMIENTO - DE - PERSONAS = \frac{15,061hh}{1,100hh} = 13,69 \approx 14 \text{ personas. La Tabla 3.5}$$

muestra el requerimiento de personal técnico.

MAQUINARIA EQUIPO Y/O HERRAMIENTAS	N° DE OPERARIOS
Tractor de orugas	01
Cargador Retroexcavadora	01
Rodillo Vibratorio	01
Soldadora	02
Grúa	02
Nivel láser y teodolito	01
Tirfor	01
Herramientas en general	05
TOTAL PERSONAS	14

Tabla 3.5 Requerimiento de personal técnico

b. Personal especializado

La Tabla 3.6 muestra el requerimiento de personal especializado.

DESCRIPCION	CANTIDAD
GERENTE DE PROYECTO	01
INGENIERO RESIDENTE	01
GERENTE DE CONSTRUCCION	01
GERENTE DE CALIDAD	01
MECÁNICOS MONTAJISTAS	02
ESPECIALISTA EN BOMBAS	01
INSTRUMENTISTA	01
TOTAL	08

Tabla 3.6 Requerimiento de personal especializado

3.- Asignación de medios de transporte para el personal, alojamiento y viáticos

Para el transporte de los equipos se contratará una empresa especializada en el ramo, tendrá en consideración las dimensiones y peso de los componentes, partes y equipos de la planta de asfalto, asimismo el tipos de vehículos para el transporte, condiciones topográficas, anchos y radios de curvatura de las vías, anchos y capacidades de los puentes y obras de arte, y finalmente los puntos o partes delicadas de los equipos para evitar colisiones. Se dispondrá de movilidad local para el traslado del personal, para lo cual se deberá contar con el Plan de Traslado. El Plan deberá precisar las horas y lugar de traslado a la zona de trabajo. En el interior de la Planta se dispondrá la ubicación de las duchas, baños químicos, caseta de control, comedor, zona de descanso etc.

Se deberá programar y calendarizar las asignaciones por concepto de viáticos y otros gastos, los cuales afectarán a la partida de los gastos generales.

Las instalaciones y la infraestructura, se inician con la limpieza del terreno, y todas las actividades previas, incluyendo oficinas, obras provisionales, suministro eléctrico, suministro de agua y otros similares con el fin de garantizar la seguridad y confort para el personal.

Según las condiciones de la licitación, parte de la infraestructura es provista por el dueño o entidad y el resto por el contratista. No obstante, hay siempre algún riesgo debido a retrasos en la disponibilidad de la infraestructura por una razón u otra. Esto representa asignación presupuestal por parte del contratista el cual debería estar establecido en el contrato.

4.- Planos y especificaciones técnicas

Los planos de montaje son esenciales para la ejecución de las diferentes actividades en la instalación de la planta de asfalto. Deben ser precisos y manejados con eficiencia, asimismo es pertinente que existan controles sobre el diseño original, modificación y planos de replanteo actualizados. El número de dibujos que se necesitará para la

fabricación de las partes y componentes de la planta de asfalto, deben ser precisos y cuidadosamente seleccionados con el propósito que exista coherencia y vinculaciones entre los siguientes documentos:

- Planos de Ingeniería y Especificaciones Técnicas de los Equipos y Materiales de Montaje.
- Diagrama de Flujo de Procesos es un Diagrama de Bloques.
- Layout es un plano de disposición de los equipos, donde se detalla la capacidad de los equipos. Esta a cargo de un grupo de ingenieros mecánicos.
- Planos de Fabricación de Equipos.
- Planos de Montaje de Equipos.
- Planos de Cimentaciones de Máquinas, los cuales están en función del tipo de suelos. De acuerdo a los planos de cimentación de máquinas se realizarán los trazos respectivos, y se procederá a la excavación con retroexcavadora.
- Plano de Fabricación de Estructuras de Acero y de Montaje de Estructuras de Acero.
- Planos de Piping, Planos de Tuberías (de agua, gas, vapor, aceite térmico).
- Planos de Alimentación de Energía.
- Planos de Fuerza.
- Planos de Iluminación.
- Planos de Control y automatización toda planta que cuenta con instrumentación tiene que tener un Programador Lógico Controlable (PLC) que controla un grupo de máquinas.
- Planos del Scada (Supervisión Control Acquisition Data), muestra detalles de los procesos desde la cabina de control.

Elaborados los dibujos y las especificaciones técnicas, éstos deben ser identificados con un número o código y con fecha de emisión; lo mismo debe hacerse con cualquier dibujo o plano que haya sido modificado. Los softwares más utilizados para el diseño son. AUTOCAD, MECHANICAL DESKTOP, CADMATIC 3D, ELOMATIC. La modificación de los planos requiere de la aprobación por parte de la supervisión y del Gerente del Proyecto consideración por adelantado de los gastos que podrían estar involucrados.

El control sobre los planos está usualmente a cargo del Gerente de Construcción, y del Ingeniero Residente quienes deben conocer en detalle todos los aspectos relacionados con las obras civiles y montaje de la planta de asfalto. Por lo tanto es importante que el control y manipulación de los documentos sea en forma ordenada y minuciosa. La ayuda que presta los planos es retroalimentar o generar permanentemente el feedback con las áreas comprometidas con el proceso de fabricación y montaje, planificar adquisiciones, realizar el control y asegurar la calidad de todos los procesos según se muestra en la Figura 3.30. En la sección correspondiente a planos de la presente Tesis estamos presentando los siguientes documentos:

- Layout de las Tolvas Dosificadoras de los Agregados Vírgenes.
- Plano del Tambor Mezclador.
- Plano de Silo y la Faja Transportadora de la Mezcla en Caliente.
- Plano de Elevación de de la Tolvas.



Figura 3.30 Relaciones entre los planos y especificaciones técnicas con los procesos de fabricación, montaje y operación de la planta de asfalto en caliente

5. -Procedimientos de montaje de la planta de asfalto ALMIX Modelo 4822

Las plantas ALmix serie "Compact I" incluyen sistema de tolvas de agregados, transportador de entrada de tipo lanzador, y un colector húmedo de tipo venturi, todos estos equipos están montados en un bastidor o chasis común junto con el tambor mezclador mostrados en la Foto 3.31.



Foto 3.31 Planta de asfalto ALMIX Modelo 4822 40 TPH - 60 TPH

- A. Tolvas:** Conformada por un recipiente de cuatro compartimentos alimenta al tambor mezclador. Cada compartimiento está construido con una plancha de acero de $\frac{1}{4}$ " y tiene una abertura de 7' y 4" por 9' y 6". Cada compartimiento tiene una capacidad de 8 toneladas. En el piso del recipiente se encuentra una salida de forma cónica para evitar derrames y evitar la acumulación de agregados en la zona de alimentación mostrados en la Foto 3.32.



Foto 3.32 Tolvas para agregados vírgenes alimentadas con cargador frontal

- B. Faja de la tolva:** Cada recipiente esta equipado con una faja de un ancho de 18" y una longitud de 6'. La faja funciona con ayuda de un motor de 1 - $\frac{1}{2}$ HP, alimentado con corriente alterna con cual se puede cambiar las velocidades. La faja de transporte es de dos pliegues. El equipo de la faja de transporte esta conformado de dos ruedas de transporte, poleas, ruedas de intermedio de 4" de diámetro, equipo para desmontar la banda, controlador de funcionamiento y dos indicadores programables del nivel de cemento. Cada faja de transporte tiene un control electrónico que indica las toneladas por hora que se transportan ubicada en la consola del operador.

C. Faja transportadora de agregado: Un conductor de 18" de ancho funciona con un motor de 3 hp. La fuerza está transmitida por ejes y ruedas dentadas. El conductor recibe la mezcla de la banda de transporte y lo lleva al tambor mezclador. La velocidad que es relativamente alta no deja que se obstruya y lo favorable es que se puede trabajar con entradas no temperadas a un desnivel normal. La Foto 3.33 muestra el montaje de tolvas para agregados vírgenes y faja transportadora en la planta de asfalto Almix.



Figura 3.33 Montaje de tolvas para agregados vírgenes y faja transportadora en la planta de asfalto Almix Ubicada en Indiana EUA

D. Tambor mezclador: Todos los Modelos de Mezcladores ALmix de la serie "Compact" ofrecen las dimensiones del diámetro en pulgadas seguido de la longitud del tambor en pies. Así el modelo 4822 incluye un tambor de 48" (121.9mm) de diámetro y 22' (6.7m) de longitud. Todos los tambores serie "Compact" están construidos de placa 5/16" de aleación resistente a la abrasión y deformación. Los tambores son movidos por rodillos trunnion a través de reductores montados en los apoyos y con motores eléctricos. Los trunnions son maquinados y tratados antes de ser reducidos para que entren en los apoyos. Cada ensamble de trunnion incluye dos soportes esféricos atornillados a las pesadas placas de ajuste del trunnion para eliminar desalineamientos. Los rodillos de impulso son proveídos para asegurar la correcta posición de operación del ensamble del tambor. La Foto 3.34 muestra las acciones previas del proceso de montaje del tambor modelo 4822 de la planta de asfalto Almix ubicada en Fort Wayne en los E.U.A.



Foto 3.34 Preparando el proceso de montaje del tambor modelo 4822 de ALMIX en Fort Wayne E.U.A. Ing. Lee A Stackhouse e Ing Hugo Miranda evaluando los componentes

En el proceso del montaje se tiene que tener en consideración que el tambor gira con ayuda de dos motores de 7- ½” HP, de 3/60/460V y una caja de cambios de cuatro ejes. El chasis principal de la construcción esta hecha con barras de acero y con columnas que soportan al eje de y al tambor mostrados en la Foto 3.35.



Foto 3.35 Vigas de acero que forman el chasis principal para soportar al tambor mezclador

Asimismo cuatro bridas de 10” de diámetro por 4” de espesor son endurecidas bajo calor a 500 Brinell y sujetadas por rodajes de bola con un diámetro de 1-15/16”. Los grupos de rotación son montados encima de una plancha de acero de ½” así que ellos forman una unidad. Las revoluciones son transmitidas por dos ruedas o trunnions de acero 1045 de una sola pieza de un espesor de 1 – ½ por 3” de diámetro. El material en el recipiente es descargado por una salida que está empernado al costado. Entre la zona del recipiente y la salida se calienta al material por una corriente de aire a temperatura alta.

E. Montaje del quemador: El Modelo 4822 utiliza un quemador de marca HAUCK STARJET mostrado en la Foto 3.36, el cual incluye equipo estándar en todos los modelos "Compact". El quemador Starjet elimina la necesidad de cámaras de combustión refractarias alineadas y mosaicos de ignición. El Starjet está equipado de forma estándar para quemar diesel, pero con la adición de equipo opcional, este puede utilizar gas natural, propano líquido o aceites de desecho precalentados.

El montaje del quemador comprende un motor de control, micro válvula, tubería para aire y aceite, detectores de llama para el piloto y llama principal, turbo soplador y bomba de combustible.

El quemador (si se tiene el equipo adicional apropiado) es capaz de trabajar con cualquier aceite, gas natural, liquido LP o gasolina. Tiene una gran eficiencia los inyectores de 36 onzas son alimentados por un motor de 20 HP, 3/60/460V, además tiene un control automático de temperatura, sistema de seguridad contra incendio. La capacidad disponible es de 22,200.000 BTU/HR, trabaja con aceite de denominación #2 y dispone de una bomba de aceite de ½ HP, 3/60/460V.

En el proceso del montaje se tiene que tener en consideración que el tambor gira con ayuda de dos motores de 7- ½” HP, de 3/60/460V y una caja de cambios de cuatro ejes. El chasis principal de la construcción esta hecha con barras de acero y con columnas que soportan al eje de y al tambor mostrados en la Foto 3.35.

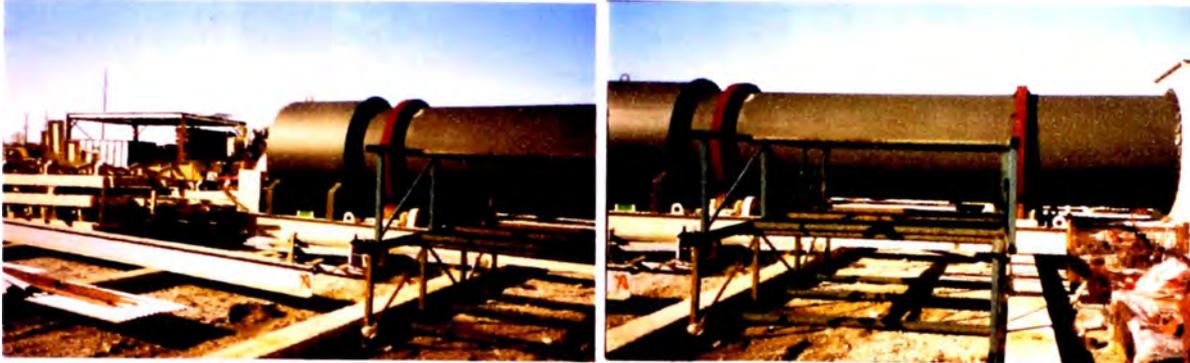


Foto 3.35 Vigas de acero que forman el chasis principal para soportar al tambor mezclador

Asimismo cuatro bridas de 10” de diámetro por 4” de espesor son endurecidas bajo calor a 500 Brinell y sujetadas por rodajes de bola con un diámetro de 1-15/16”. Los grupos de rotación son montados encima de una plancha de acero de ½” así que ellos forman una unidad. Las revoluciones son transmitidas por dos ruedas o trunnions de acero 1045 de una sola pieza de un espesor de 1 – ½ por 3” de diámetro. El material en el recipiente es descargado por una salida que está empernado al costado. Entre la zona del recipiente y la salida se calienta al material por una corriente de aire a temperatura alta.

E. Montaje del quemador: El Modelo 4822 utiliza un quemador de marca HAUCK STARJET mostrado en la Foto 3.36, el cual incluye equipo estándar en todos los modelos "Compact". El quemador Starjet elimina la necesidad de cámaras de combustión refractarias alineadas y mosaicos de ignición. El Starjet está equipado de forma estándar para quemar diesel, pero con la adición de equipo opcional, este puede utilizar gas natural, propano líquido o aceites de desecho precalentados.

El montaje del quemador comprende un motor de control, micro válvula, tubería para aire y aceite, detectores de llama para el piloto y llama principal, turbo soplador y bomba de combustible.

El quemador (si se tiene el equipo adicional apropiado) es capaz de trabajar con cualquier aceite, gas natural, liquido LP o gasolina. Tiene una gran eficiencia los inyectores de 36 onzas son alimentados por un motor de 20 HP, 3/60/460V, además tiene un control automático de temperatura, sistema de seguridad contra incendio. La capacidad disponible es de 22,200.000 BTU/HR, trabaja con aceite de denominación #2 y dispone de una bomba de aceite de ½ HP, 3/60/460V.



Foto 3.36 Quemador HAUCK STARJET

F. Colector de húmedos: Las plantas serie "Compact" están provistas ya sea con sistemas de recolección húmeda de polvo tipo Venturi o Baghouses. Los colectores húmedos están montados integralmente en el bastidor del tambor mezclador e incluyen todos sus ductos para alojar a los cables, la garganta del Venturi es de sección ajustable, cuenta con separador de agua, y ventilador de escape con columna de salida. También tiene una bomba de agua con acoplamiento directo al motor. Los Baghouses son provistos con patines de montaje en las plantas de la Serie II o montados en el bastidor principal del tambor en las plantas de la Serie III. Los sistemas de retorno de polvo incluyen sopladores en línea los cuales regresan el polvo recolectado al proceso de mezcla. Para instalar el sistema colector de polvos mostrado en la Foto 3.37, se necesita una salida más grande y movable en el recipiente de recolección. Consta de un conducto de entrada con regulación Venturi, separador primario y con un motor de 40 HP, 3/60/460V. En el conducto de entrada se instala un tubo de cobre con pequeñas aberturas para saturar el aire con líquido. La primera capa del material en el sistema de control del aire está formada de una placa resistente al desgaste para así asegurar una larga vida. La bomba de agua es de 40 gpm y se alimenta con un motor de 7 – ½ HP, 3600 r.p.m., 3/60/460V. La bomba de agua tiene su propia base para colocarlo cerca de pozo.



Foto 3.37 Sistema colector de polvos listo para el montaje en una planta en Indiana E.U.A

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

Las características técnicas del Modelo 4822 se muestran en la Tabla 3.7.

PLANTA ALMIX MODELO 4822	
Capacidad (TPH)	40-60
Capacidad @ 5% Humedad (TPH)	50
Tamaño Quemador (MBTU)	22
Transportador de Entrada	2
Drives por Tambor HP	(2) 7 1/2
Soplador Quemador HP	15
Ventilador de escape (Venturi) HP	40
Bomba de agua HP	5
Ventilador de escape (Baghouse) HP	30
Retorno de Polvo (Total) HP	11 1/2
Bomba de Combustible HP	1/2
Compresor de Aire (Venturi) HP	2
Compresor de Aire (Baghouse) HP	7 1/2
Bomba de Asfalto HP	2
Sistema Venturi Total HP	81.5
Sistema Total Baghouse HP	83.5
Transportador de mezcla y alimentador	10
Banda de Tolvas (cada una)	2

Tabla 3.7 Características técnicas de la planta ALMIX Modelo 4822

G. Silo de almacenamiento de mezcla: El equipo cuenta con un silo con capacidad de 3 toneladas el cual se que se erige automáticamente mostrado en la Foto 3.38.



Foto 3.38 Silo de mezcla asfáltica y faja transportadora

El silo está construido con planchas de ¼” de ancho y tiene una puerta de abertura con ayuda de rodajes movibles se deja abrir fácilmente para dejar caer la mezcla a las tolvas del camión. La compuerta es accionada mediante con un cilindro hidráulico de 4" de diámetro. Tiene un sensor el cual indica el nivel de llenado. El depósito y la faja transportadora son puestos en posición de trabajo por manivelas manuales.

H. Portabilidad y datos prácticos para montaje : El tambor mezclador y el resto de partes se puede transportar sobre un camión trailer con frenos de aire, con 4 ruedas por eje. se deberá tener en consideración los siguientes aspectos:

- El embalaje está en función de la fragilidad, peso, y dimensiones del equipo a transportar.
- El Transporte está en función de la fragilidad, peso, dimensiones, vías, puentes. Para este caso se usará camiones con cama baja.
- Las Maniobras de Montaje están en función del peso, distancia, momentos de volteo, equipos de montaje. Se usarán cargador retroexcavadora y grúa, se establecerán las áreas para circulación.
- La Cimentación está en función del tipo de suelo, cargas de montaje y cargas de trabajo. Los Planos de Cimentación de máquinas establecerán la resistencia mínima del suelo.
- Las Inspecciones están en función de los materiales, procesos, equipos a ser montados.
- Los Equipos de Inspección están en función de la energía disponible, naturaleza de la inspección. Se dispondrá de energía eléctrica.
- La Seguridad Industrial durante el montaje esta en función de la capacitación, equipos de montaje.
- La Calidad del Montaje está en función de todos los procesos y procedimientos que se utilicen.

6.- Equipos y herramientas asignados para maniobras de montaje

La Tabla 3.8 presenta la relación de la maquinaria para ejecutar las labores de montaje de la planta de asfalto en caliente.

DESCRIPCION	CANTIDAD
GRÚA DE 45 TON. TELESCÓPICA Y AUTOPROPULSADA.	02
CARGADOR RETROEXCAVADOR	01
DUMPER	02
CARGADOR COMPACTO CON DIRECCION HIDROSTATICA	01

Tabla 3.8 Maquinaria necesaria para labores de montaje

La Tabla 3.9 presenta la relación del equipo para maniobras de montaje de la planta de asfalto en caliente.

DESCRIPCION	CANTIDAD
TECLEES DE 5 TON.	01
TECLEES DE 10 TON.	01
TIRFOR DE 3 TON. (CABLE)	01
JUEGOS DE ANDAMIOS CON TABLONES DE MADERA	03
NIVEL ÓPTICO	01
TEODOLITO	01

Tabla 3.9 Equipo para maniobras de montaje

La Tabla 3.10 presenta la relación de herramientas y equipo de uso general para ejecutar el montaje de la planta de asfalto en caliente.

DESCRIPCION	CANTIDAD
CAJAS COMPLETAS DE HERRAMIENTAS	02
EQUIPOS DE OXICORTE	01
CARRITO SEMIAUTOMÁTICO DE OXICORTE	01
EQUIPO CORTE POR PLASMA	01
TALADROS MAGNÉTICOS 25	02
PUNZONADORA HIDRÁULICA 10 X 25	01
ESMERIL DE BANCO DE 25 X 200	01
GATAS HIDRÁULICAS DE 50 TON.	01
JUEGO DE COMBAS Y MARTILLOS	01
JUEGOS DE PUNZONES, OCTAVOS CEES Y TEES	04
TORQUIMETROS DE PALANCA	02
JUEGO DE ESCUADRAS	01
JUEGO DE NIVELES MAGNÉTICOS	01
JUEGO DE PLOMADAS	01
JUEGOS DE DISPOSITIVOS DE PLANTILLADO Y ARMADO	01
PRENSAS DE TORNILLO	01
JUEGOS DE HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN (CALIBRADORES, MICRÓMETROS, REGLAS, WINCHAS)	04
TALADRO DE PERCUSIÓN 25	01

Tabla 3.10 Herramientas y equipo de uso general

La Foto 3.39 presenta los tipos de niveles láser a utilizar para realizar la nivelación de los suelos, plataformas y camas de apoyo de los componentes y partes de la planta de asfalto.



**Sistema Interior MinuteMarker™
 Modelo 1042**



El versátil Laser Uni-Point para alineamiento a corta distancia. Hace productivo a cualquier equipo de trabajadores, en SOLO un minuto!

Spectra-Physics

Industrial



Los sistemas de alineamiento IndustrAlign™ reemplazan los métodos lentos viejos de instrumentos ópticos, alambre tenso, niveles de mecánico, y reglas. El transmisor electrónico láser auto-nivelado/plomado ha sido diseñado para aplicaciones industriales de precisión que requieren de precisiones tan exactas como $\pm 0.03/0.08\text{mm}$.

Aplicaciones de estos sistemas incluye instalación de maquinaria nueva, posicionamiento de placas base y pedestales, nivelación y alineamientos, llanura y alineamiento de rodillos paralelos, alineamientos de inclinación, línea, plomada y pínon/taja-v. Con el sistema IndustrAlign, estas aplicaciones pueden ser realizadas en menos tiempo y con menos gente que por los métodos viejos.

Spectra Physics Laserplane ofrece una combinación de orientación de clientes, innovación técnica, dedicación a calidad, y devoción para darle servicio a los clientes en los mercados de construcción, agricultura, industriales y minería.

Foto 3.39 Tipos de niveles láser

La Foto 3.40 presenta al tipo de teclée a utilizar para realizar el izaje de los componentes y partes de la planta de asfalto.



Figura 3.40 Teclée de 3 TN

La Foto 3.41 presenta a la máquina Tirfor para realizar tareas de halar piezas y partes de la planta de asfalto.

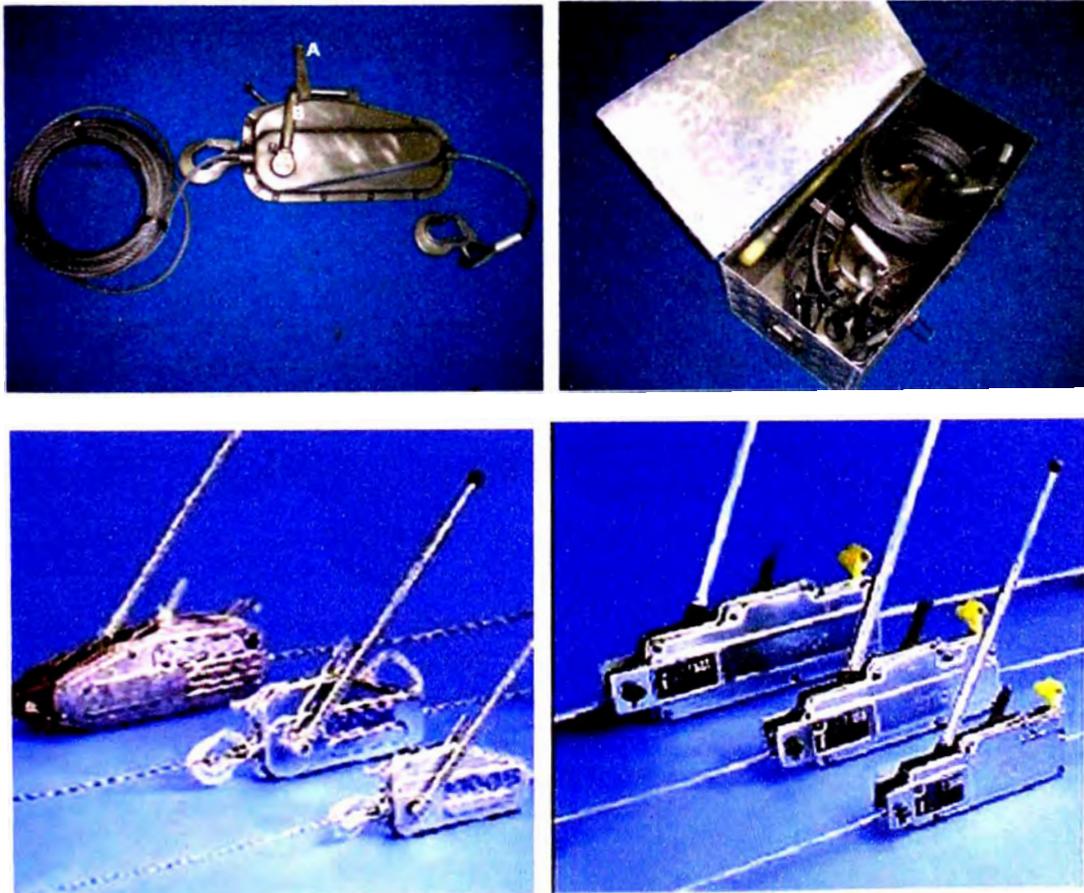


Foto 3.41 Máquina Tirfor

La Foto 3.42 presenta a la cargadora retroexcavadora Caterpillar 426C de 89 hp para realizar distintos trabajos de movimiento de tierras.



**Foto 3.42 Cargadora retroexcavadora
BACKHOE LOADER**

Las Fotos 3.43 y 3.44 muestran a los dumpers y a los cargadores compactos o skid steer loaders de dirección hidrostática para realizar distintos trabajos de carguío, acarreo y movimiento de tierras.



Foto 3.43 Dumper utilizado para carguío y acarreo



Foto 3.44 Skid steer loaders - cargador compacto de dirección hidrostática

La Foto 3.45 presenta a los modelos de grúas de 45 tn para realizar distintos trabajos de izaje y desplazamiento de las partes y componentes de la planta de asfalto.



Foto 3.45 Grúas

7.- Definición de los puntos de inspección

Para realizar una correcta inspección al proceso de montaje de la planta de asfalto se requiere disponer de los siguientes recursos:

- Grupo de profesionales expertos en cada disciplina.
- Procedimientos de control de calidad bien definidos.
- Puntos de inspección bien definidos.
- Equipos, herramientas e instrumentos apropiados para la naturaleza de la inspección.
- Planos, especificaciones técnicas, catálogos, brochures, etc.

La definición de los puntos de inspección debe ser representativa, asimismo la localización de cada zona de intervención tiene que estar definida en los planos de inspección. Por lo tanto es importante tener en cuenta los siguientes procedimientos:

- Los protocolos de prueba tienen que ser propuestos por el proyectista.
- Los fabricantes tienen también protocolo de pruebas propio los cuales deberán ser compatibilizados con la normas ad hoc.
- Los protocolos de prueba permite verificar que el equipo quede en correctas condiciones de instalación, montaje y operación.
- Se debe realizar pruebas de eficiencia del equipo a través de mediciones directas, curvas de rendimiento, parámetros estándar.
- Se debe inspeccionar las fallas del equipo durante las pruebas.
- Se debe disponer de equipos, herramientas, insumos e instrumentos apropiados para efectuar las pruebas.

En el sector metal mecánica cada fabricante, asume sus propias normas, salvo en el caso específico que se define una norma. Las normas que se deben tener en consideración para los diseños y fabricación están consideradas en la Tabla 3.11.

DESCRIPCIÓN	NORMA
SOCIEDAD AMERICANA DE NORMAS	ANSI
NORMAS INTERNACIONALES	ISO
NORMA ALEMANAS	DIN
ESTRUCTURAS METÁLICAS	AUC
PARTES VEHICULARES	SAE
EQUIPO DE TRANSPORTE	CEMA
PUENTES GRÚAS	CRANE
SOLDADURA	AWS
VENTILADORES	AMCA
PINTURAS	SSPS
ENGRANAJES	AGMA
TANQUES	API
CALIDAD DEL ACERO	DIN y ASTM
TRANSMISIONES	MPTA
ELÉCTRICOS	NEMA

Tabla 3.11 Normas internacionales para inspección

a. Procedimiento de inspección del montaje de la planta de asfalto

El Departamento de Control de Calidad durante el proceso de montaje de la planta de asfalto deberá cumplir las siguientes funciones:

- Asegurar al cliente que la fabricación de los equipos se ha realizado según las normas ofrecidas en el contrato o según los estándares empleados para la fabricación de equipos.
- Asegurar que los materiales empleados estén dentro de lo ofrecido en el contrato y que cumplan con las especificaciones de los planos.
- Asegurar que los equipos han sido sometidos a las pruebas y protocolos de inspección.

Para lo cual seguirá el siguiente procedimiento:

- Inspección de los materiales remitidos por los proveedores.
- Control dimensional en el armado.
- Verificación de la preparación de juntas según procedimientos de soldadura.
- Inspección de los procedimientos y control de las pruebas no destructivas.
- Calidad de depósito de soldadura.
- Verificación del plantillado del equipo.
- Inspección dimensional en el ensamble del equipo.
- Inspección del armado.
- Inspección del procedimiento de pintado y control de espesores de película.
- Marcar las piezas y partes según codificación para el montaje.
- Si durante la realización de las inspecciones se encuentran defectos, se procederá a remitir informe de correcciones y se indicará el procedimiento para efectuar la reparación.
- A la conclusión satisfactoria del equipo se emitirá una acta de entrega a la supervisión, juntos con los protocolos de pruebas (hidrostática, radiográficas, líquidos penetrantes, probetas y certificación de calidad de los materiales) y las pruebas en vacío con los resultados de temperatura y consumo de amperajes.
- Los equipos y componentes llevarán su respectiva placa de identificación y sticker con la información indicada en la Tabla 3.12.

INSPECCIÓN	RESULTADO
MATERIAL	✓
SOLDADURA	✓
DIMENSIONES	✓
ALINEAMIENTO	✓
ENSAMBLAJES	✓
ACABADOS	✓
MARCAS DE ENSAMBLAJE	✓
IDENTIFICACIÓN	✓
PESO	✓
PACKING LIST	✓
PRUEBAS	✓

Tabla 3.12 Lista de verificación

b. Puntos definidos para realizar la inspección

1. TOLVA.
2. FAJA DE LA TOLVA.
3. FAJA TRANSPORTADORA DE AGREGADOS.
4. TAMBOR MEZCLADOR.
5. QUEMADOR.
6. COLECTOR HUMEDO O BAGHOUSE.
7. TANQUE DE ASFALTO.
8. TANQUE DE ALMACENAMIENTO.
9. COMPRESOR DE AIRE.
10. EQUIPO DE MEZCLADORA.
11. CASETA DE CONTROL.
12. PANEL DE CONTROL.
13. CONSOLA.
14. SISTEMA DE CIRCULACION DE ACEITE CALIENTE.

La Foto 3.46 muestra la inspección por parte del Ing. Hugo Miranda, Ing. Michael K. Uchtyl Vicepresidente de ASTEC y Sr Cristiam Korn, de las tolvas de agregados vírgenes de la planta de asfalto ASTEC en Chattanooga TN en los E.UA.



Foto 3.46 Inspección de las tolvas de agregados vírgenes de la planta de asfalto ASTEC

La Foto 3.47 muestra la inspección por parte del Ing Hugo Miranda, Sr Pastor Caro e Ing Juan Carlos Ubillus, de las tolvas de agregados vírgenes.



Foto 3.47 Inspección de las tolvas de la planta de asfalto CIBER ubicada La Victoria en Cajamarca

La Foto 3.48 muestra la inspección de las tolvas y de la faja transportadora de agregados vírgenes.



Foto 3.48 Identificación de los puntos de inspección de las tolvas y faja transportadora de agregados de la planta CIBER ubicada en Cajamarca

La Foto 3.49 muestra la inspección del tambor mezclador, trunnions y chasis.

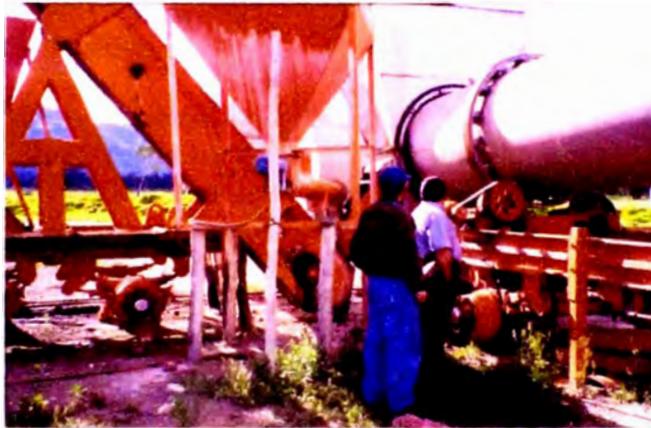


Foto 3.49 Identificación de los puntos de inspección del tambor mezclador de la planta CIBER ubicada en Cajamarca

La Foto 3.50 muestra la inspección del tanque de asfalto y tablero de control.



Foto 3.50 Identificación de los puntos de inspección del tanque de asfalto de la planta CIBER ubicada en Cajamarca. Ing Hugo Miranda, Sr Pastor Caro e Ing Juan Felipe Diaz
TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

8.- Herramientas e instrumentos de inspección

Los equipos de inspección que se utilizarán durante el montaje de la planta de asfalto en caliente son:

1. ANALIZADOR DE VIBRACIONES.
2. ANALIZADOR DE GASES DE COMBUSTIÓN.
3. DECIBELÍMETRO.
4. ULTRASONIDO.
5. TERMOGRAFÍA INDUSTRIAL.
6. RAYOS X.
7. INSPECCIÓN MEDIANTE PRUEBAS DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA.
8. TELURÓMETRO.
9. OSCILOSCOPIO
10. PINZA AMPERIMÉTRICA.
11. MEDIDOR DE FUERZA PARA TRACCION Y COMPRESIÓN.
12. MEGÓMETRO O MEDIDOR DE ASILAMIENTO.
13. HIGRÓMETRO.

a. Analizador de vibraciones

El analizador de vibraciones mostrado en la Figura 3.51, sirve fundamentalmente para el análisis rápido de los componentes vibratorios, máquinas e instalaciones el mantenimiento preventivo de las máquinas de producción de asfalto y determinar los niveles elevados de vibraciones inmediatamente después de ejecutado el montaje, es indicador de fallas prematuras de la maquinaria debido a un mal montaje las cuales deberían ser corregidas. Con el analizador de vibraciones se realizan mediciones rápidas del desequilibrio y comprueba el estado de los cojinetes y engranajes. Con frecuencia se utiliza también para valorar el estado de pequeños electromotores. Sus características principales son:

- Mide la velocidad y amplitud de la vibración, para verificar que se encuentren dentro de los límites permisibles establecidos por el fabricante de los equipos y las normas.
- Mantiene el valor después de cada medición.
- Manejable, alimentado por baterías.
- Ofrece un gran rango de frecuencia.
- Desconexión automática a los 2 minutos sin actividad.
- Aviso de cambio de batería.



Figura 3.51 Analizador de vibraciones

b. Analizador de gases de combustión

El detector de gases Tetra mostrado en la Foto 3.52, informa sobre inflamables y tóxicos de forma acústica, óptica y por vibración. Además, el detector de gases Tetra muestra siempre el valor de medición actual sobre la gran pantalla LCD. El detector de gases Tetra detecta hasta cuatro gases simultáneamente: CH₄, H₂S, CO y O₂.

Para el detector de gases Tetra están disponibles a la venta más de 16 sensores distintos para diferentes gases. Igualmente es posible equipar el detector con sólo uno, dos o tres sensores. En caso de necesidad, se podrá añadir otro adicional. Gracias a la electrónica inteligente en los sensores, no es necesaria una calibración al añadir el nuevo sensor. La calibración del mismo se realiza previamente en fábrica, los datos de calibración permanecen guardados en el sensor. Se recomienda realizar una recalibración cada medio año, pero por ley es obligatorio realizar la recalibración cada año.

El manejo del detector de gases se realiza mediante sólo un botón. Además, el detector guarda los datos cuando se ha sobrepasado un valor límite (memoria de eventos). Lo ideal es llevar el detector de gases como protección personal pegado al cuerpo, enganchado al cinturón. Las características principales son:

- Alarma acústica: 90 dB(A)
- Alarma visual: LED rojo y azul
- Alarma vibratoria
- Pantalla gráfica de 128 x 64 pixeles con iluminación de fondo
- Incl. baterías recargables
- Manejo con un botón
- Sensores para 16 gases diferentes, disponibles a la venta
- Homologación ATEX
- Sensores inteligentes, guardan los datos de calibración
- Los sensores pueden también ser cambiados en lugares expuestos a riesgos



Foto 3.52 Analizador de gases de combustión

c. Decibelímetro

El decibelímetro mostrado en la Foto 3.53, es un instrumento muy útil para localizar y registrar un nivel sonoro general o puntual y de este modo no poner en peligro la salud de los trabajadores de una empresa por tener que estar expuestos a un nivel de ruido demasiado elevado, es ideal para medir el sonido y el ruido en diferentes lugares, como por ejemplo en el puesto de trabajo, en el control de máquinas, en la obra, en lugares con gran afluencia de público, como una discoteca o el ruido del vecindario.

El ruido se ha convertido para muchas personas en el problema medioambiental número uno. Según encuestas representativas realizadas por organismos autorizados uno de cada cinco ciudadanos considera el ruido como una grave carga. Este aparato profesional se usa al aire libre y en espacios cerrados con una alta precisión. Sus aplicaciones básicas son:

- Medición de ruido para la protección laboral.
- Medición de ruido ambiental (protección del ambiente).
- Elección de protectores auditivos.



Foto 3.53 Decibelímetro

d. Ultrasonido

El ultrasonido es una onda acústica, de naturaleza similar a las ondas sonoras debido a los efectos que provoca durante su propagación en materiales sólidos, líquidos y gaseosos. Este método de prueba tiene gran variedad de aplicaciones técnicas y científicas. La prueba se efectúa rápidamente y con exactitud al determinar la posición de las discontinuidades internas estimando sus dimensiones, orientación y naturaleza con una alta sensibilidad para detectar pequeñas discontinuidades, alta capacidad de penetración por lo que permite localizar discontinuidades a gran profundidad del material, sólo requiere acceso por un solo lado del objeto a inspeccionar y la interpretación de las indicaciones se hace de forma inmediata.

Hasta hace relativamente poco tiempo, las inspecciones por ultrasonidos se realizaban exclusivamente de manera manual. Esta modalidad tiene la desventaja de que requiere mucha destreza por parte del operador, y además, no existe un registro permanente. Desde hace aproximadamente dos décadas, se fueron introduciendo sistemas automáticos en los ensayos realizados en centrales nucleares. Los costos de estos equipos no permitían su aplicación al resto de las industrias. El abaratamiento progresivo de los componentes electrónicos y, sobre todo, el incremento de la capacidad de proceso de los ordenadores ha hecho posible que, cada vez más, la inspección automática por ultrasonidos se aplique en sectores industriales muy diversos.

La técnica de inspección automática mostrada en la Figura 3.54 por ultrasonidos es similar a la empleada en un ensayo manual. La diferencia radica en que el movimiento de los palpadores, la adquisición de datos y la representación de los resultados on line es controlada por un PC. La inspección se realiza simultáneamente con varios palpadores de diferentes ángulos y orientados en diferentes direcciones con el fin de cubrir completamente el volumen de interés. Toda la información obtenida durante la inspección puede ser analizada posteriormente.

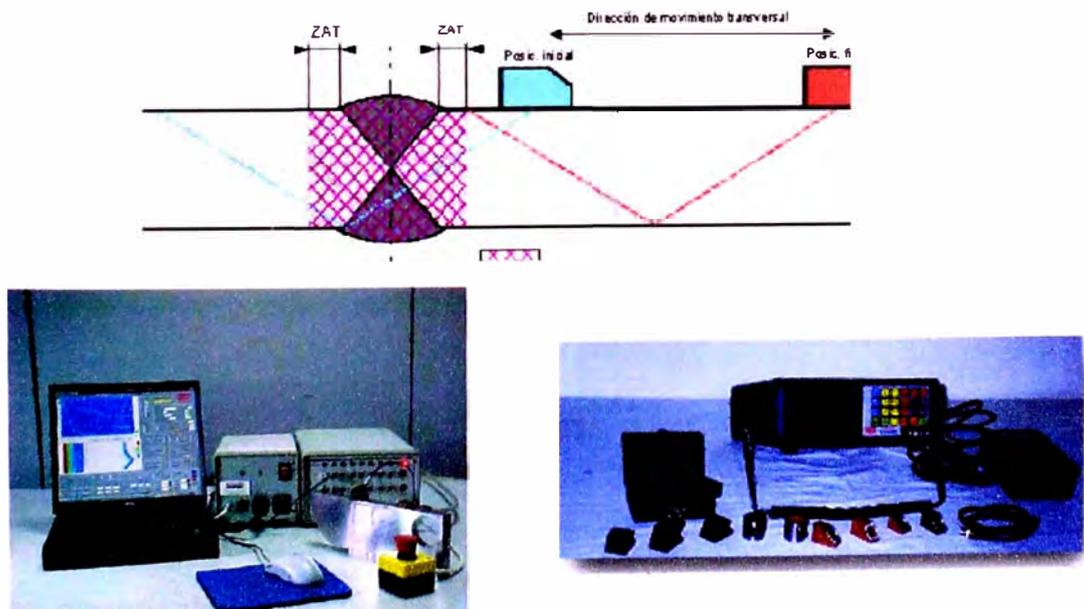


Figura 3.54 Inspección ultrasónica de soldaduras

e. Termografía Industrial

La Termografía Infrarroja es una técnica que permite a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión utilizando equipos mostrados en la Foto 3.55.



Foto 3.55 Aplicación de la termografía industrial

La Física permite convertir las mediciones de la radiación infrarroja en medición de temperatura, esto se logra midiendo la radiación emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas.

Los ojos humanos no son sensibles a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termográficas, o de termovisión, son capaces de medir la energía con sensores infrarrojos, capacitados para "ver" en estas longitudes de onda. Esto nos permite medir la energía radiante emitida por objetos y, por consiguiente, determinar la temperatura de la superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto.

La radiación infrarroja es la señal de entrada que la cámara termográfica necesita para generar una imagen de un espectro de colores Figura 3.56, en el que cada uno de los colores, según una escala determinada, significa una temperatura distinta, de manera que la temperatura medida más elevada aparece en color blanco.

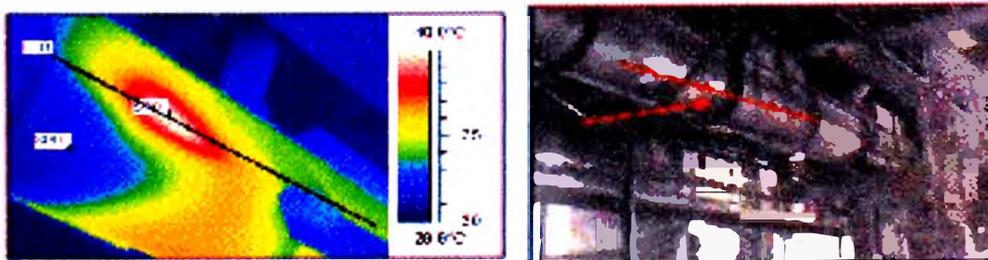


Figura 3.56 Análisis mediante termografía infrarroja

La gran mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial - ya sea de tipo mecánico, eléctrico y de fabricación - están precedidos por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistema de Termovisión por Infrarrojos.

La implementación de programas de inspecciones termográficas en instalaciones, maquinaria, cuadros eléctricos, etc., es posible minimizar el riesgo de un falla de equipos y sus consecuencias, a la vez que también ofrece una herramienta para el control de calidad de las reparaciones efectuadas a partir del diagrama de funcionamiento de la cámara de rayos infrarrojos mostrado en la Figura 3.57.



Figura 3.57 Esquema de funcionamiento de una cámara de rayos infrarrojos

El análisis mediante Termografía infrarroja debe complementarse con otras técnicas y sistemas de ensayo conocidos, como pueden ser el análisis de aceites lubricantes, el análisis de vibraciones, los ultrasonidos pasivos y el análisis predictivo en motores eléctricos. Pueden añadirse los ensayos no destructivos clásicos: ensayos radiográficos, el ultrasonido activo, partículas magnéticas, etc. Las aplicaciones de la termografía en mantenimiento preventivo industrial permite realizar el análisis mediante Cámaras Termográficas Infrarrojas, está recomendado para:

- Instalaciones y líneas eléctricas de alta y baja Tensión.
- Cuadros, conexiones, bornes, transformadores, fusibles y empalmes eléctricos.
- Motores eléctricos, generadores, bobinados, etc.
- Reductores, frenos, rodamientos, acoplamientos y embragues mecánicos.
- Hornos, calderas e intercambiadores de calor.
- Tambores mezcladores de asfalto
- Instalaciones de frío industrial y climatización.
- Líneas de producción, corte, prensado, forja, tratamientos térmicos.

Las ventajas del mantenimiento preventivo por termovisión son:

- Método de análisis sin detención de procesos productivos, ahorra gastos.
- Baja peligrosidad para el operario por evitar la necesidad de contacto con el equipo.
- Determinación exacta de puntos deficientes en una línea de proceso.
- Reduce el tiempo de reparación por la localización precisa de la Falla.
- Facilita informes muy precisos al personal de mantenimiento.
- Ayuda al seguimiento de las reparaciones previas.

Los equipos avanzados para la realización de ensayos no destructivos por medio de la termografía infrarroja se muestra el EchoTherm de la Figura 3.58 es un sistema de vanguardia para el desarrollo y aplicación de la Termografía Infrarroja activa (dependiente en el tiempo) con la finalidad de poder resolver problemas reales en la industria de la aviación, aeroespacial, automotriz, militar, de la energía, y de los materiales en general.



Figura 3.58 Sistema Eco Therm

Científicos de los principales laboratorios de investigación del mundo utilizan el EchoTherm en Windows NT y su hardware es compatible con todas las cámaras infrarrojas. Incluye las digitales, las de alta velocidad y resolución ensambladas con detectores de formación plana, provee una medida cuantitativa identificando defectos bajo superficie, mejorando significativamente la performance de las cámaras infrarrojas. También el EchoTherm puede ser usado para detectar las fallas de adhesión de materiales mostrados en la Figura 3.59, en aplicaciones en el área de inspecciones de oleoductos, gasoductos, cañerías en general, en soldaduras mostrados en la Figura 3.60 y análisis de corrosión mostrado en la Figura 3.61 y en procesos industriales totalmente automatizados.

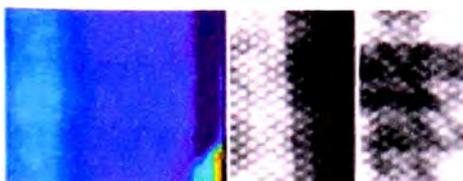


Figura 3.59 Falla en la adhesión de materiales compuestos

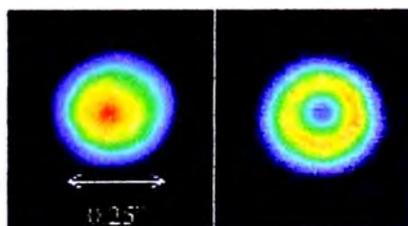


Figura 3.60 Soldadura por puntos

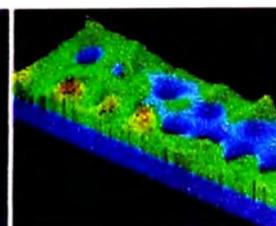


Figura 3.61 Corrosión

f. Rayos X

Las técnicas empleadas para realizar Radiografía Industrial son:

- Rayos X
- Rayos Gamma.

Ambas técnicas utilizan a la energía radiante que, luego de emitida por la fuente, incide sobre el material a estudiar, la atraviesa y emerge disminuyendo en intensidad portando información. La presencia de fallas o vacíos en el objeto ensayado provocan una absorción diferencial de la intensidad del haz que lo atraviesa, lo que se pone en manifiesto en una placa radiográfica o es observado a través de pantallas fluoroscópicas. Las fuentes de radiación más utilizadas son los equipos de rayos X y los radioisótopos.

Los rayos X se producen cuando un haz de electrones muy energéticos incide contra un metal y los rayos gamma son producidos por pequeñas cantidades de sustancias reactivas, se suelen emplear isótopos de iridio-192, cesio-137, cobalto-60 como lo muestran la Figura 3.62.



Figura 3.62 Equipos portátiles de rayos x y rayos gamma para la inspección de metales y costuras de soldaduras

g. Inspección mediante pruebas de presión hidrostática

Los instrumentos para medida de presión SITRANS P mostrado en la Figura 3.63, es una familia completa de transmisores para la medida de presiones relativas, diferenciales y absolutas. Además de su alta precisión de medida y robustez conviene su facilidad de manejo, la funcionalidad del sistema modular así como su perfecta filosofía de seguridad. Una gama probada para cualquier aplicación.

SITRANS P no se inmuta en presencia de cargas químicas y mecánicas extremas así como interferencias electromagnéticas, en el rango de 1mbar a 400bar (0.145psi a 5800psi). También ofrece funciones de seguridad no habituales como supervisión de la instalación y auto-test, diagnóstico de fallas y señalización de la próxima fecha de calibración. Única en su género es la función de auto-test para un funcionamiento sin incidencias. Las células de medida pueden sustituirse en un abrir y cerrar de ojos. Para el usuario esto significa reparación in situ más rápida, simple y barata. Los transmisores

SITRANS P se ajustan tanto in situ como a distancia vía PROFIBUS PA o usando protocolo HART, de forma plenamente digital.



Figura 3.63 Instrumentos para medida de presión y prueba hidrostática

h. Telurómetro

Directamente sería imposible medir la resistencia de una toma de tierra, por lo que se hace precisa la utilización de un aparato especial llamado "TELURÓMETRO". Este aparato se basa en el método de compensación y funciona con un generador magneto de C.A, que lleva un transformador en serie de relación exacta 1:1, es decir, que la intensidad por el primario es siempre igual a la del secundario.

Según se muestra en la Figura 3.64, disponiendo de dos pequeños electrodos clavados en el suelo, como tomas de tierra auxiliares (R_1 , R_2), además de la toma de tierra que queremos medir (R_t), ya pueden establecerse las ecuaciones que resuelven el circuito eléctrico.

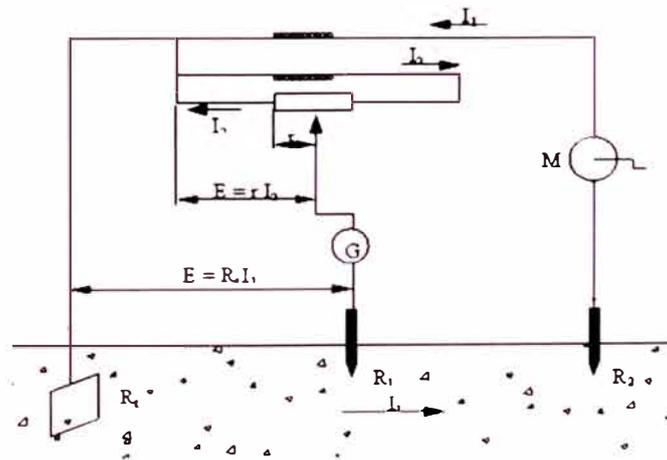


Figura 3.64 Esquema del funcionamiento del telurómetro

Dando vueltas a la manivela de la magneto y ajustando al mismo tiempo el potenciómetro de manera que por el galvanómetro no pase intensidad, tendremos que esto sucederá cuando las tensiones $E = r I_2$ y $E = R_t I_1$ sean iguales, pero como por otra parte, las intensidades también serán iguales $I_1 = I_2$ tendremos:

$$r I_2 = R_t I_1 \quad ; \quad r I_2 = R_t I_2$$

y por tanto:

$$r = R_t$$

Es decir, la resistencia que marque el potenciómetro será igual a la resistencia de la toma de tierra. La particularidad de este método consiste en que la medición, se hace independientemente de las tomas de tierra auxiliares que se realizan R_1 y R_2 , aunque es aconsejable que R_2 no sea muy grande, pues de ella depende la intensidad I_1 , y esta no conviene que sea muy pequeña.

Estas tres tomas de tierra deberán estar separadas unas de otras unos 10 m. para evitar la influencia entre ellas. También es importante resaltar la conveniencia de hacer estas mediciones a frecuencias distintas a la industrial, para evitar las posibles interferencias con otras corrientes que no pertenezcan al aparato. Por lo general las frecuencias que utilizan los telurómetros son relativamente altas, del orden de 500 a 1.200 Hz.

El telurómetro descrito corresponde a un modelo clásico de hace años; en la actualidad, basados en este principio, se construyen modelos que sustituyen la magneto por generador a pilas y la lectura de las mediciones se realiza, en algunos modelos, sobre un display digital de la Figura 3.65. Las características básicas son:

- Capacidad para medir voltajes de tierra desde "0" hasta 199.9 V
- Mide resistencia de tierra en 3 rangos, (20, 200, 2000 Ohms).
- Como ventaja adicional se suministra la punta de prueba de dos líneas para mediciones simplificadas, como accesorio estándar.
- Protección para sobrecargas
- Equipo operado con baterías, con indicador de vida útil.
- Temporizador para funciones de prueba.
- Sistema de apagado automático.
- Respaldo de datos

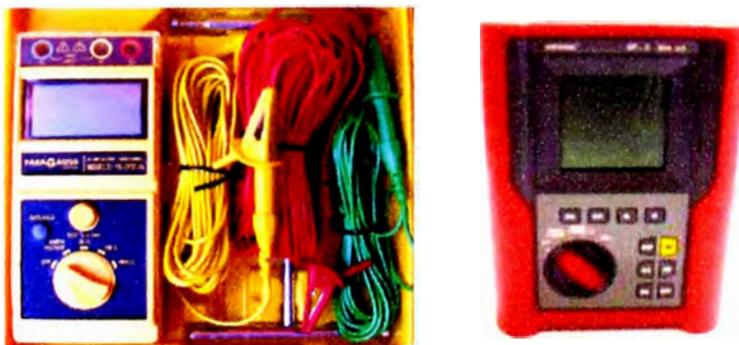


Figura 3.65 *Telurómetros*

i. Osciloscopio

El osciloscopio de la Figura 3.66, es un instrumento de medición con múltiples funciones para ser usado por los técnicos en electricidad del sector industrial tanto in situ como en el taller mecánico, en el laboratorio o en investigación y desarrollo institucional.

El osciloscopio de mano cubre el vacío existente entre un multímetro normal y el osciloscopio portátil. Al lado de sus múltiples funciones, este osciloscopio cuenta con un amplio rango de frecuencia (5 MHz) y con un generador de funciones que permite representar la función cuadrangular, sinodal y triangular. El rango de frecuencia ampliado con el contador de frecuencia (hasta 45 MHz) satisface al usuario más exigente. Es posible imprimir los datos de la pantalla con un plotter o con el PC a través de la interfaz RS-232 C (separación galvánica). Las características principales son:

- Contador de frecuencia (45 MHz).
- Generador de funciones (5 MHz, sinodal, triangular, rectangular).
- Medidor de revoluciones (0 -12000 RPM).
- Medidor de ángulo de cierre (0 - 90°).
- Analizador lógico (de 1 canal).
- Tensión (AC / DC), corriente (AC / DC), capacidad, resistencia, prueba de diodos, comprobación de tránsito, medición de frecuencia.
- Pantalla gráfica múltiple.
- Función de auto chequeo.
- En el envío del Scope Meter se incluyen la interfaz RS-232, el software y el cable de datos.
- Funcionamiento con baterías.
- Certificado de calibración ISO adicional.
- Seguridad: IEC 1010 1/ 664; CAT II.



Figura 3.66 Osciloscopio y pantalla

j. Pinza amperimétrica

La pinza amperimétrica mostrada en la Figura 3.67, mide corriente continua y alterna y cuenta con las funciones básicas de tensión continua y alterna, resistencia, frecuencia, tránsito y diodos. Todas las funciones y rangos de la pinza amperimétrica tienen protección por sobrecarga.



Figura 3.67 Pinza amperimétrica

k. Medidor de fuerza para tracción y compresión

El medidor de fuerza mostrado en la Figura 3.68, destaca por su alta precisión y sus rangos máximos de fuerza de hasta 50.000 N. Así tendrá la posibilidad de medir la fuerza de presión en una prensa o la fuerza de tracción de una hidráulica de forma sencilla y precisa. Este medidor de fuerza posee una célula dinamométrica externa con un cable de 2,5 m y ha sido concebido para hacer pruebas de roturas y desgarres. No es necesario utilizar células de medición adicionales, ya que con la célula combinada "Z" podrá medir tanto las fuerzas de presión como las fuerzas de tracción.



Figura 3.68 Medidor de fuerza con célula dinamométrica externa combinada

l. Megómetro o medidor de asilamiento

El medidor de aislamiento mostrado en la Figura 3.69, determina resistencias de aislamiento hasta un máximo de 4000 M Ω (para tensiones auxiliares de 250, 500 y 1000 V). Además este medidor de aislamiento ofrece la posibilidad de medir corrientes continuas y alternas hasta un máximo de 600 V y para resistencias hasta un máximo de 4 k Ω . Los valores de medición pueden fijarse presionando una tecla. El aparato cumple las normas DIN 57 411 parte 1/VDE 0411 parte 1, medidas de protección para aparatos de medición electrónicos (IEC1010-1) y DIN VDE 0413 (medidores de aislamiento).

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

Debido a sus múltiples funciones se podrá utilizar este medidor de aislamiento en diferentes ámbitos del montaje industrial como:

- Medición de cables de aislamiento, transformadores, motores y aisladores en general.
Mediciones de resistencias altas.
- Cuidado y mantenimiento.
- Mediciones dieléctricas / Mediciones de polaridad.



Figura 3.69 Megómetro o medidor de aislamiento

m. Higrómetro o medidor de humedad

Este higrómetro mostrado en la Figura 3.70, está pensado para el uso profesional en la técnica de medición meteorológica. El higrómetro proporciona la humedad relativa y la temperatura ambiental.



Figura 3.70 Megómetro o medidor de aislamiento

La memoria de datos interna del higrómetro (con una capacidad de 16.000 valores), permite la grabación de los valores de medición de humedad y temperatura pudiendo elegir libremente la cuota de medición en modo directo o en modo de logger de datos para utilizarse como registrador de larga duración mostrado en la Figura 3.71.

La medición de la temperatura se realiza con Thermistor, un sensor polímero de humedad por capacitancia. El sensor de 190 mm unido al higrómetro con un cable en espiral de 1,2 m, y provisto de rejilla, puede sujetarse al aparato durante la medición con la sujeción prevista para ello.

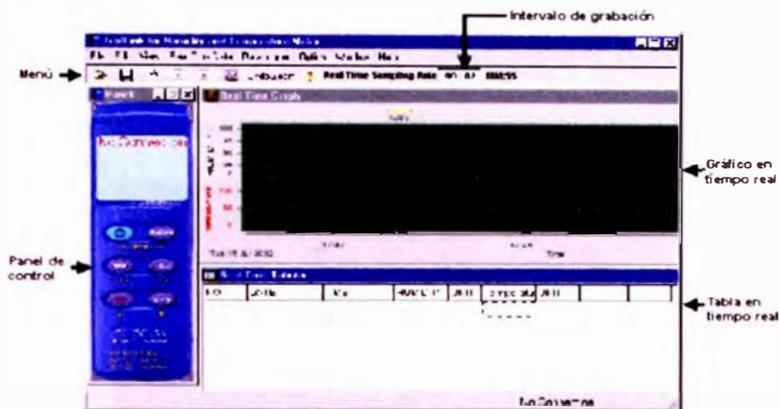


Figura 3.71 Higrómetro o medidor de humedad

3.6 La seguridad en el montaje y operación de la planta de asfalto

La seguridad en el proceso de montaje y operación de la planta comienza con la persona. Puede que ésta sea una pauta muy directa y básica, pero algo tan sencillo como consultar con el supervisor antes de tomar acción no puede pasarse por alto en una planta de asfalto en caliente tal como lo muestra la Foto 3.72. Por ejemplo, según el tipo de trabajo a realizar, puede que la norma exija equipo protector especial o específico.



Foto 3.72 Coordinaciones y consultas con el supervisor durante el montaje y operación de la planta de asfalto

También, deben acatarse estrictamente las pautas referente a la vestimenta. En casi todas las plantas, todo tipo de vestimenta o accesorio que esté suelto constituye un peligro inminente a la seguridad porque puede quedar atrapado en alguna pieza móvil o en los controles.

Cuando se trata de precauciones con el equipo, la regla de oro es sencilla: Aquellos que no estén familiarizados con algún equipo no deben intentar operarlo sin antes recibir las instrucciones apropiadas. Otra pauta de seguridad importante que debe acatarse es la de llevar a cabo inspecciones antes de operar cualquier equipo como lo indica la Foto 3.73.



Foto 3.73 Las inspecciones a cada una de las partes y componentes de la planta de asfalto deben realizarse según lo establecido en los y procedimientos y manuales del fabricante

En el área de mantenimiento, una regla valiosa es contar con un conocimiento cabalidad de los procedimientos de cerrar/identificar al reparar o darle mantenimiento al equipo. Pero el hecho es que hay tantas precauciones y procedimientos de seguridad relacionados con las distintas áreas de una operación como las hay para el equipo. Por ejemplo, en las instalaciones de una planta de asfalto en caliente, la seguridad depende del control apropiado de la circulación de empleados, vehículos, conductores y visitantes.

Los operadores y empleados de la planta y demás personas también tienen que pensar acerca de la seguridad fuera de la planta. Un ejemplo es la necesidad de comprender dónde deben estar los camiones de transporte de la mezcla asfáltica y quién debe estar presente cuando se está descargando un tanque de asfalto o un camión con combustible.

Cuando se trata del funcionamiento y mantenimiento del equipo de una planta de asfalto en caliente, hay varias pautas para cada elemento como por ejemplo: depósitos de alimentación en frío y transportadores, quemadores, secadores/tambores, silos, filtros de mangas, etc.

La clave para la seguridad es que todos los operadores comprendan a cabalidad los manuales del fabricante, del operador y de mantenimiento que cubren cada componente de la planta.

En lo que respecta al manejo y almacenamiento de la materia prima, el equipo debe revisarse antes de arrancarse y al inicio de cada turno. Se debe cerciorar que todos los accesos, zonas de circulación, caminos, escaleras y otros componentes de acceso estén libres de obstrucciones y en buenas condiciones y que no haya materiales extraños alrededor del equipo. Tener muy presente la señalización al interior de las instalaciones de la planta.

Se debe estar siempre en alerta y en atención a cualquier vibración extraña, ruido u otro indicio de problemas durante el arranque o la inspección del equipo.

Los quemadores nunca deben encenderse con una antorcha manual, deben encenderse por piloto solamente. El quemador debe estar ajustado de manera que la llama esté baja antes de intentar encenderlo. Todas las líneas de combustible deben verificarse para cerciorarse que estén limpias y libres de escombros, incrustaciones y, otros materiales extraños.

La articulación de la válvula de control de combustible se debe inspeccionar para garantizar que está ajustada al recorrido según las recomendaciones del fabricante, y que el inyector de combustible correcto esté conectado de manera segura y ajustado en la posición adecuada.

Las causas más comunes de los incendios en la cámara de filtrado son:

- Combustible no quemado.
- Asfalto líquido en la cámara de filtrado.

Después que se haya apagado el incendio, con mucho cuidado detener el flujo de los agregados hacia el tambor y abrir el regulador de salida. No encender el ventilador de escape hasta que los bomberos garanticen que la zona está libre de peligros. Se debe tener mucho cuidado al abrir las puertas de acceso después de un incendio.

A fin de ayudar en la prevención de incendios en la cámara de filtrado, al inicio de cada turno, verificar que el quemador esté en buenas condiciones, identificar las articulaciones que se encuentren en mal estado, válvulas de combustible defectuosas, fugas, ajustes inadecuados y mayor uso de combustible que el normal.

No exceder de la temperatura de funcionamiento recomendada por el fabricante, ni tratar de que la planta funcione más allá de su capacidad indicada.

Inspeccionar la cámara de filtrado en busca de orificios o agujeros y empaques gastados, y mantener el combustible alejado de los tanques de asfalto y combustible de reserva.



CAPÍTULO

IV

EVALUACIÓN Y SELECCIÓN TÉCNICA DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

Aprende a conocer el verdadero valor del tiempo: arrebatá, coge y aprovecha cada momento. Nada de ociosidad; fuera de pereza; nada de aplazamientos; nunca dejes para mañana lo que puedes hacer hoy.

LORD CHESTERFIELD

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN Y SELECCIÓN TÉCNICA DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EN PLANTAS DE ASFALTO

4.1 Formulación de las alternativas tecnológicas

Las alternativas tecnológicas disponibles en el mercado de las plantas de asfalto en caliente las cuales han sido consideradas para ser evaluadas en el Capítulo IV de la presente Tesis, se muestran en la Tabla 4.1.

ALTERNATIVA TECNOLÓGICA	TIPO DE PRODUCCIÓN
BATCH PLANTAS	DISCONTUNUA
PLANTAS CON TAMBORES MEZCLADORES DE FLUJO PARALELO	CONTINUA
PLANTAS CON TAMBORES MEZCLADORES DE CONTRA FLUJO	CONTINUA
PLANTAS CON TAMBOR MEZCLADOR DE CONTRA FLUJO DOUBLE BARREL DE ASTEC	CONTINUA
PLANTAS CON TAMBOR MEZCLADOR DE CONTRA FLUJO TRIPLE DRUM DE CMI	CONTINUA

Tabla 4.1 Alternativas tecnológicas de plantas de asfalto en caliente

Para proceder con el análisis técnico comparativo de cada alternativa tecnológica, es pertinente disponer de los aspectos que se indican en la Tabla 4.2.

ASPECTOS	DESCRIPCIÓN
LAYOUT	<ul style="list-style-type: none"> • VISTA GENERAL DE TODA LA PLANTA Y COMPONENTES
DIAGRAMA DE FLUJO	<ul style="list-style-type: none"> • DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS
VENTAJAS Y DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • CONFIGURACIÓN DE PLANTA • TIPOS DE TAMBORES MEZCLADORES • CALIDAD DE MEZCLA • OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
PONDERACIÓN PARA LA ELEGIR LA ALTERNATIVA TECNOLÓGICA	<ul style="list-style-type: none"> • CRITERIOS DE PONDERACIÓN • FACTORES DE PONDERACIÓN
SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA TECNOLÓGICA	<ul style="list-style-type: none"> • ELECCIÓN DE LA MEJOR TECNOLOGÍA EN PLANTAS DE ASFALTO • DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA PLANTA

Tabla 4.2 Alternativas tecnológicas de plantas de asfalto en caliente para evaluación

4.2 Análisis técnico comparativo de cada alternativa tecnológica

4.2.1 Batch Plant

A.- Layout de una batch plant

La Figura 4.1 muestra el layout típico de una planta de asfalto discontinua o batch plant cuya producción es de 80- 100 tph.

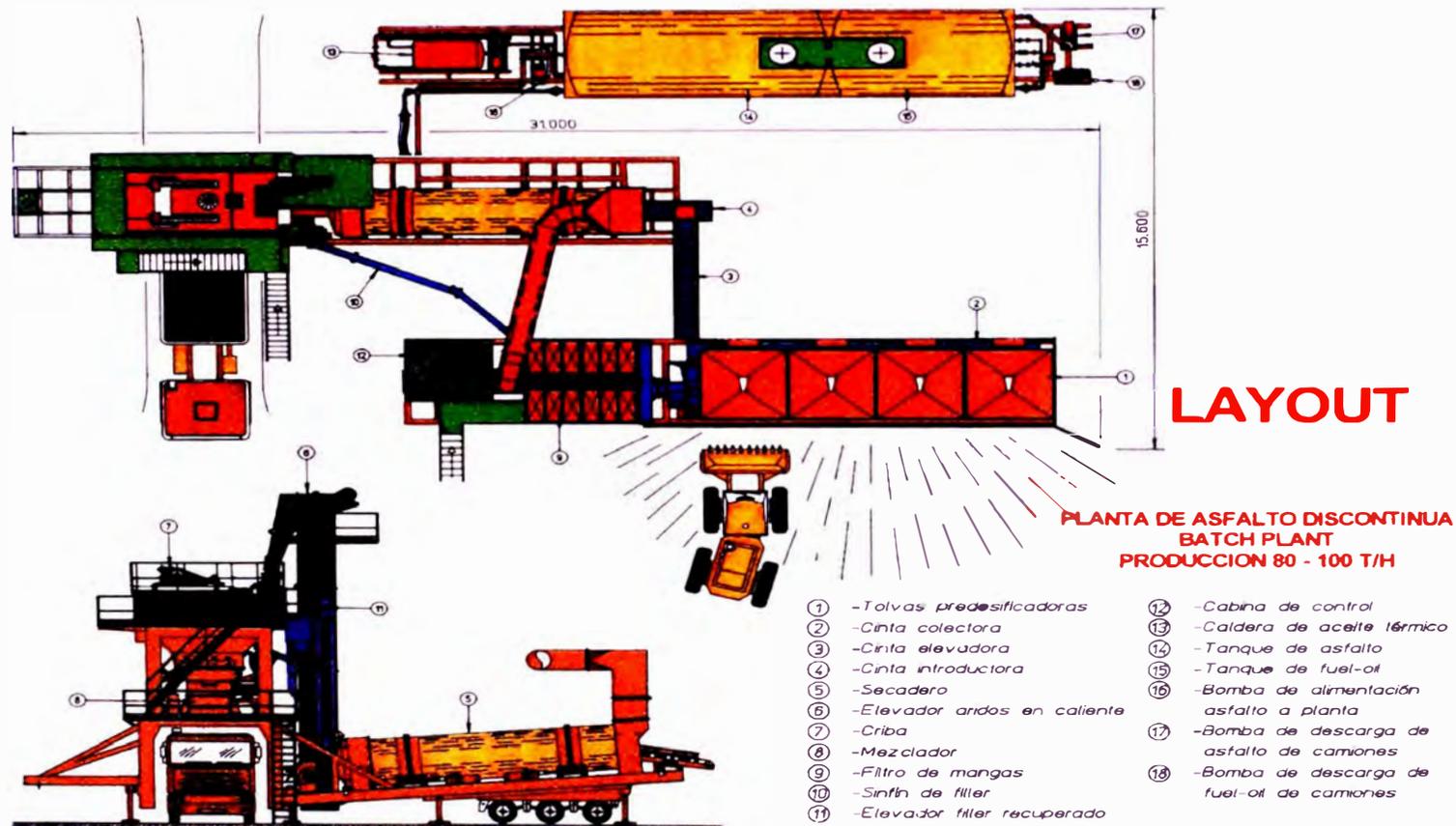


Figura 4.1 Layout típico de una batch plant

B.- Diagrama de flujo de una batch plant

La Figura 4.2 muestra el diagrama de flujo de los procesos en una batch plant, asimismo presenta las principales partes o componentes.

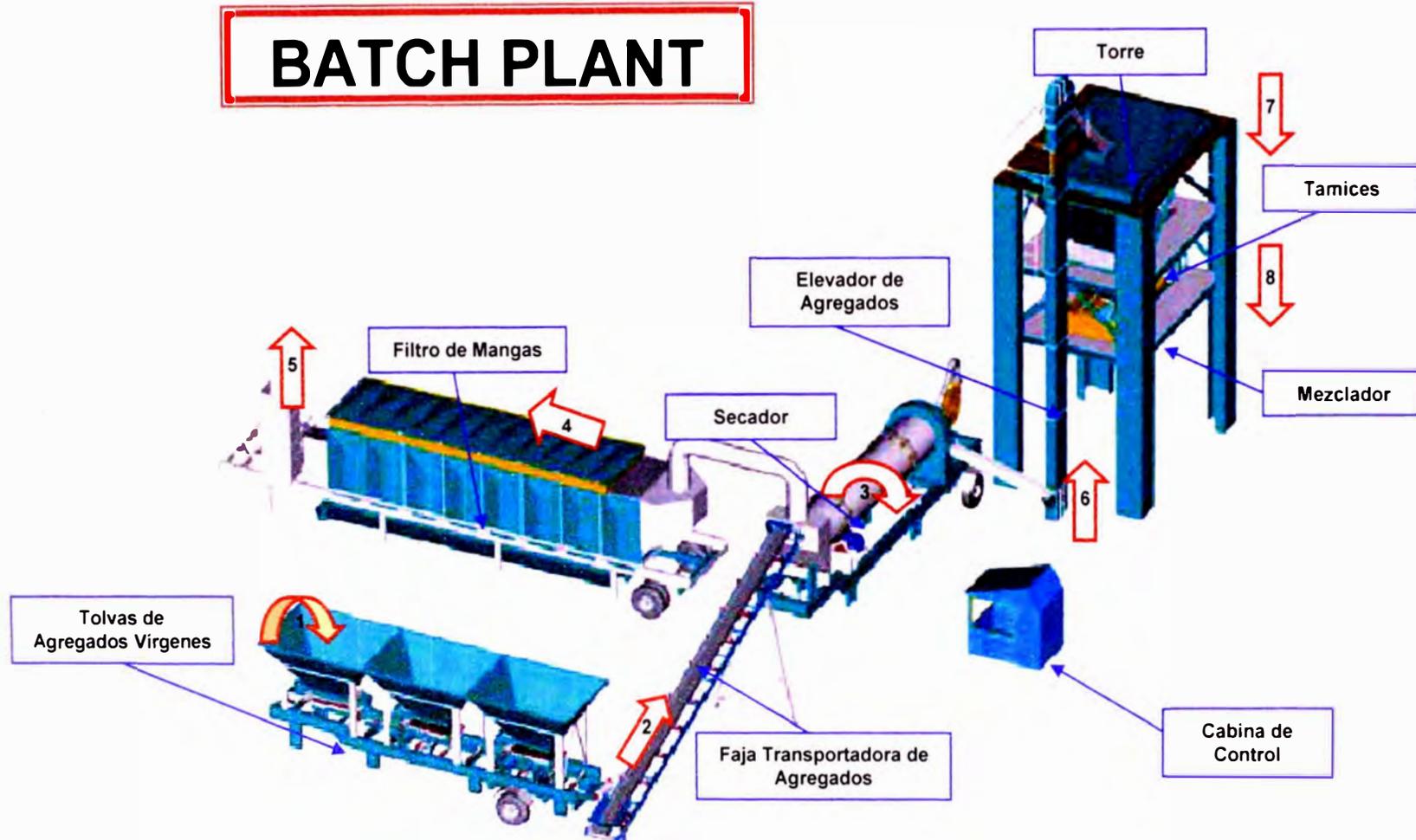


Figura 4.2 Diagrama de flujo de procesos en una batch plant

C.- Ventajas y desventajas de una batch plant

La Tabla 4.3 presenta las principales ventajas y desventajas de las batch plant.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Fueron aceptadas como las más precisas por cuanto el secado se realiza separadamente y la dosificación se hace íntegramente por peso. • Los agregados vírgenes son preclasificados en frío y alimentados al tambor donde son completamente secados y calentados, luego son elevados a una torre donde son reclasificados por un sistema de tamices y almacenados en las correspondientes tolvas en caliente; posteriormente se pesa una por una la cantidad de cada tipo de agregado para producir el diseño de mezcla requerido. • La dosificación de la carga corresponde a una cantidad específica de mezcla asfáltica el cual está en función del tamaño o capacidad de la planta. • La mezcla se hace usualmente a 149°C (300°F) hasta 163°C (325°F). Se consideran que está completamente lista cuando el mezclado es homogéneo y las partículas del agregado están totalmente revestidas de asfalto. • A medida que se pesa cada uno de los agregados, son enviados a un mezclador de paletas de doble eje, primero se inicia el mezclado en seco y luego se le agrega el cemento asfáltico que también es pesado en forma independiente. • Incluyen un secador de contraflujo para secar el agregado. Este método de secado ha demostrado ser el de menor costo porque generaba las temperaturas de escape más bajas como lo muestra la Foto 4.6. • Producen mezclas de alta calidad y son capaces de alterar la mezcla en volúmenes tan pequeños como la mitad de la carga de un camión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se las limitó la producción de asfalto debido a que se exigía la instalación de equipo adicional para controlar la polución del aire. • Se convirtieron en plantas mucho más grandes y más difíciles de mover, limitando su portabilidad a la vez que su producción fue restringida por la adición de equipos como los sistemas colectores para controlar la emisión de polvos debido a los altos niveles de contaminación como lo muestra la Foto 4.3. • El costo de adquisición se incrementó sustancialmente, debido a que son muchos componentes que las hacen demasiado costosas como lo muestra la Foto 4.4. • La dosificación no es necesariamente exacta pues, con frecuencia, se hace solo en la unidad de dosificación que normalmente, tiene un área de trabajo muy pequeña lo que da como resultado una sobre carga de los finos o filler. • En una planta dosificadora o batch plant, los puntos que requieren mayor atención son las tolvas de alimentación en frío y las tolvas calientes; asimismo de la cantidad de mantenimiento que la torre y elevador de agregados en caliente necesitan para una correcta operación, ello genera altos costo de mantenimiento tal como lo muestra la Figura 4.5.

Tabla 4.3 Ventajas y desventajas de las batch plant



Foto 4.3 *Batch plant de ASTEC producción 400 tph de mezcla asfáltica*

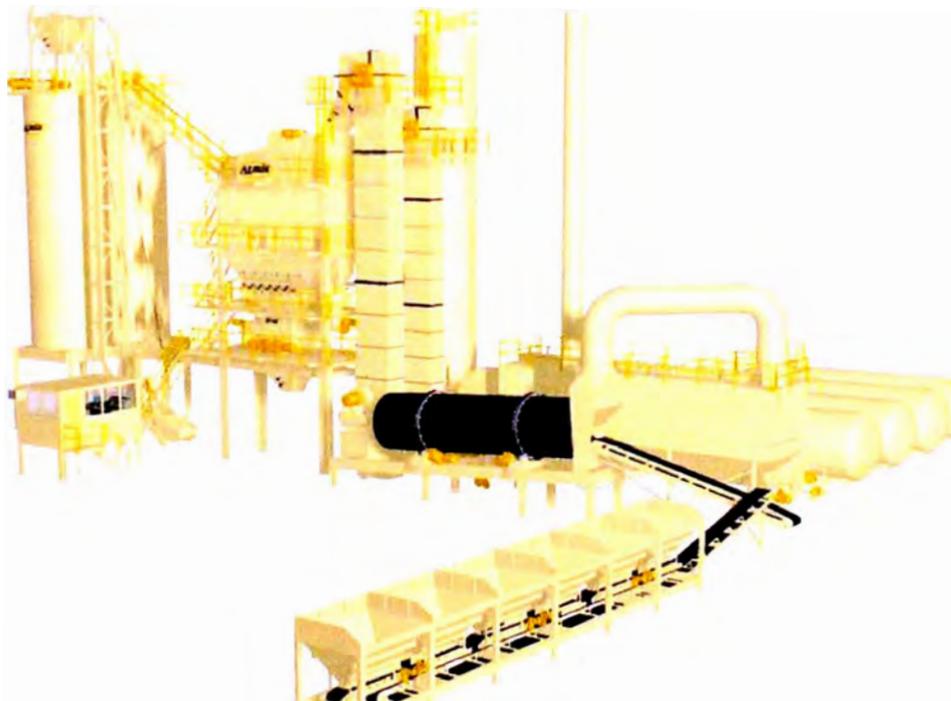


Foto 4.4 *La mayor cantidad de componentes hacen más costosas a las batch plant*

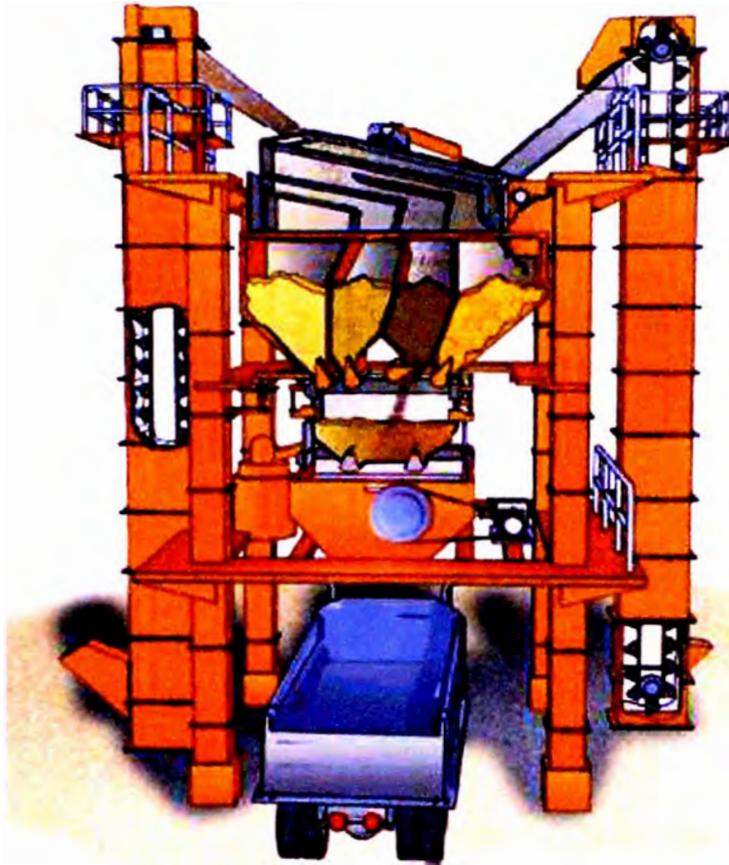


Figura 4.5 La torre y el elevador de agregados en caliente requieren altos costos de mantenimiento



Foto 4.6 Secador de contraflujo de una batch plant

4.2.2 Plantas con tambores mezcladores de flujo paralelo

A.- Layout de una planta con tambor mezclador de flujo paralelo

La Figura 4.7 presenta el layout de una planta con tambor mezclador de flujo paralelo.

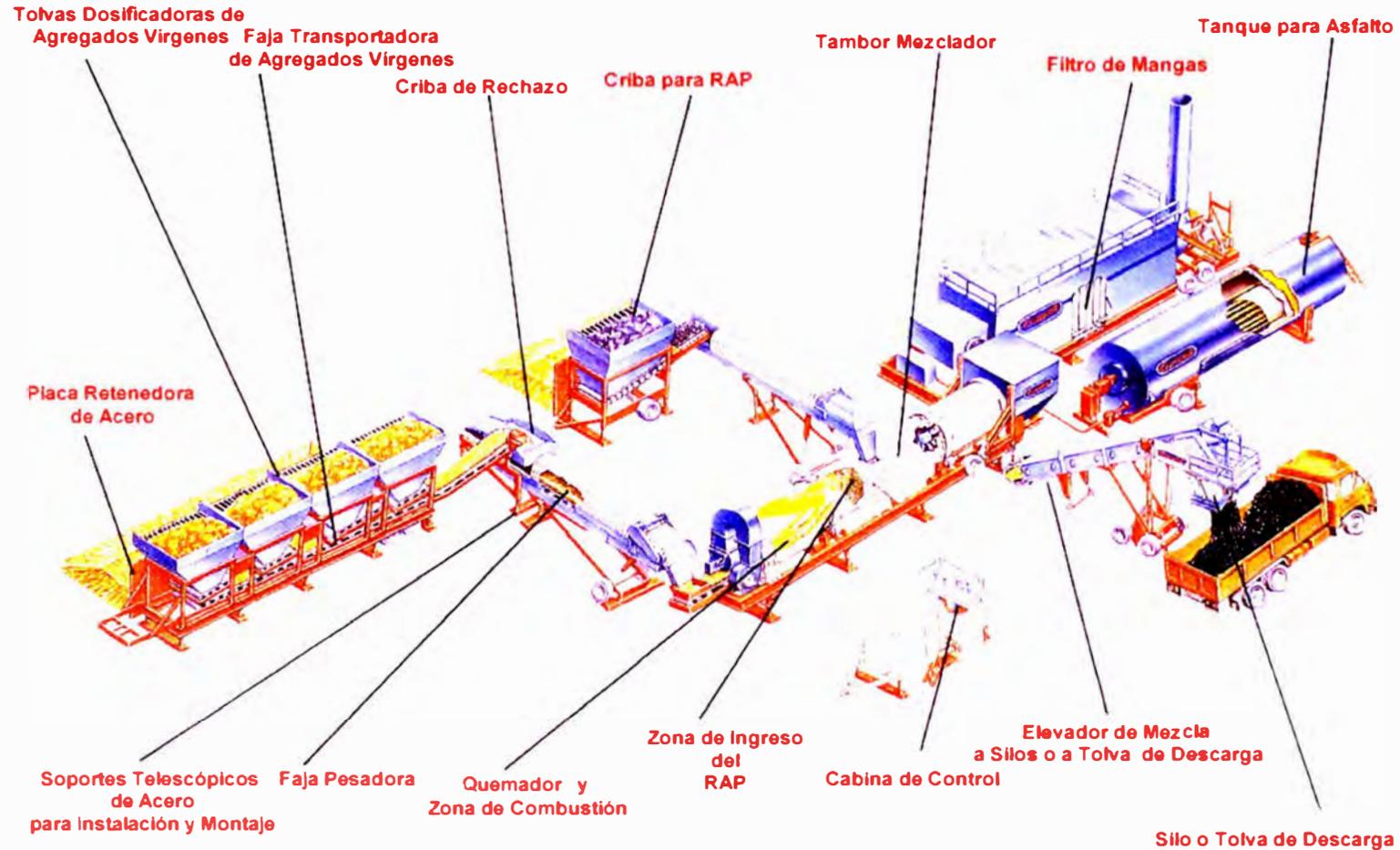


Figura 4.7 Layout de una planta con tambor mezclador de flujo paralelo

B.- Diagrama de flujo de una planta con tambor mezclador de flujo paralelo

La Figura 4.8 muestra el diagrama de flujo de los procesos de una planta con tambor mezclador de flujo paralelo, asimismo presenta las principales partes o componentes.

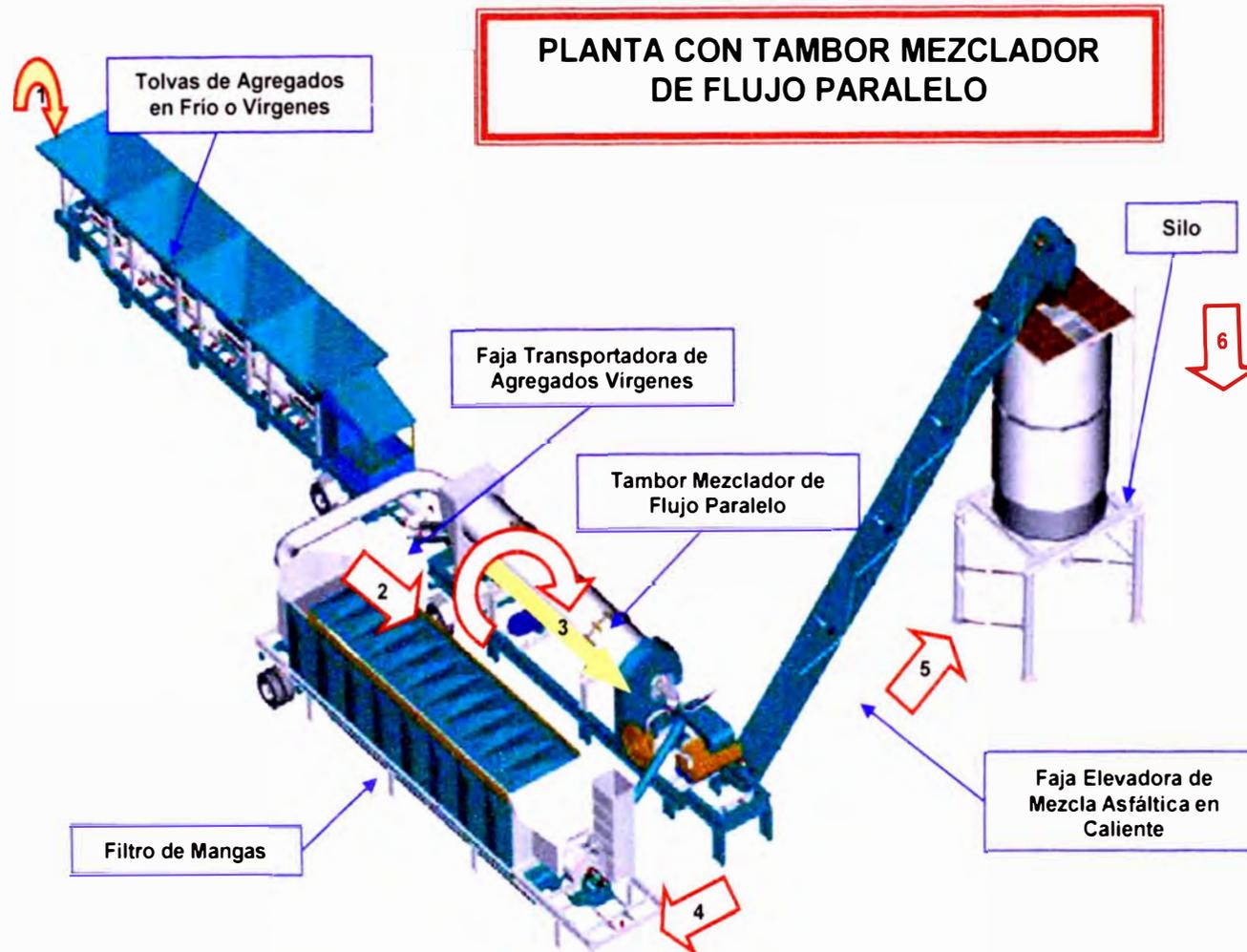


Figura 4.8 Diagrama de flujo de los procesos de una planta con tambor mezclador de flujo paralelo

C.- Ventajas y desventajas de una planta con tambor mezclador de flujo paralelo

La Tabla 4.4 presenta las ventajas y desventajas de las plantas de tambor de flujo paralelo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Fueron introducidas en el mercado a principio de los años 1,970, con el fin de mezclar los agregados y el asfalto en el mismo tambor secador y obtener la mezcla asfáltica mediante procesos secuenciales, los agregados se desplazan en la misma dirección del chorro de gas como lo muestra la Figura 4.9. • Son más versátiles, sencillas de producción continua, por su diseño modular son fáciles de transportar e instalar. Son más portátiles y el costo de adquisición era 35 % menor que las batch plants. • Se han eliminado una serie de componentes, como; las torres de cribado, elevadores en caliente, amasadoras de paletas y cámaras de filtros de bolsas o mangas como son las batch plants. Su portabilidad, transporte, montaje e instalación son muy aceptables según la Figura 4.10. • Disponen de medidor de flujo másico para monitorear el cemento asfáltico inyectado. Mide masa en lugar de volumen, lo cual elimina la necesidad de hacer ajustes por temperatura. No tiene partes móviles y tiene una precisión de ± 0.3 % en peso. • La simplificación el sistema ha reducido sustancialmente el costo de inversión inicial, operación y mantenimiento como lo muestra la Foto 4.12. • Los costos de mantenimiento se reducen aproximadamente en un 50 % respecto a las batch plants, debido a que hay menos componentes sujetos a desgaste en el sistema de mezcladora a tambor de flujo paralelo. • Son más baratas que las plantas que ofrecen nuevas tecnologías como las 	<ul style="list-style-type: none"> • La precisión de los elementos de pesaje continuos y los elementos que ejecutaban las variaciones de velocidad no son muy eficientes, por lo tanto la calidad de la mezcla no es de calidad. • Es relativamente complicado cambiar de un diseño de mezcla a otro. • Existe la posibilidad de quemar, oxidar o destilar el cemento asfáltico, con la consecuente disminución de sus propiedades, al exponerlo a un calor excesivo, o al flujo de vapores calientes; este riesgo se incrementaba cuando cierto porcentaje de la mezcla está compuesto por RAP. • Generan emisiones de gases contaminantes que unido a los gases generados por la combustión incompleta de los quemadores de la época se convertía en un problema ambiental. • Los sistemas colectores de polvos son de tipo venturi por vía húmeda con bomba de agua, por tanto ineficientes respecto a los baghouse, generando problemas al medio ambiente como lo muestra la Foto 4.11. • Utilizan componentes más costosos para lograr los mejores resultados y cumplir con las normas más exigentes de calidad y control de emisiones no visibles. • El uso de RAP genera una variedad de problemas. La humedad, los aceites en el RAP y el aceite liviano en el asfalto virgen, que es más blando que lo normal, causan la generación de humo al introducir este material en la corriente de gas de alta temperatura como lo muestra

<p>plantas de tambor de contraflujo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las plantas modernas como DRUM MIX COATER-I (DMC) han incrementado la longitud efectiva del tambor mezclador por lo menos, cinco veces el diámetro para obtener mejores resultados en el secado, mezcla y prevenir sobrecalentamiento del asfalto como lo muestra la Foto 4.14. • La zona de mezclado donde se introduce el cemento asfáltico, actúa como un colector de polvo. La velocidad de la corriente de gases disminuye al entrar en la sección expandida en el extremo posterior del tambor, creando una turbulencia que causa que la mayoría de las partículas de finos suspendidas en el aire precipiten y caigan sobre el agregado que esta siendo recubierto con asfalto, incorporándose de esta forma a la mezcla. • El consumo de fuerza eléctrica motriz se reduce en un 25% debido a que hay menos motores eléctricos moviendo menos piezas de equipo. • La calibración y operación de la planta son fáciles y los procedimientos de obtención de mezcla son sencillo. • No requieren de cimentaciones especiales para el montaje de los componentes. • Las unidades de pesaje son de alta precisión en las bandas de alimentación, con medición promediada en dos puntos en sentido longitudinal, a través de 4 celdas de carga. 	<p>la Foto 4.13.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los modelos antiguos presentan gradación y dosificación imprecisas, secado deficiente, mezcla incompleta y oxidación del asfalto. • Cuando existe un contenido de Componentes Orgánicos Volátiles (VOCs), bien sea en el cemento asfáltico virgen o en el material reciclado, y se quiere operar con altos porcentajes de RAP (más de 30%) y alta humedad en los agregados (más del 5%) produce alta opacidad en el escape debido al fenómeno conocido como destilación, el cual ocurre cuando un gas caliente cargado con vapor de agua entra en contacto con el asfalto que contiene componentes volátiles. • Las tolvas de compensación y de almacenamiento son los puntos que requieren mayor atención y mantenimiento. • Producen temperaturas 154° a 166°C en la chimenea mucho más elevadas que aquellas con el secador de contraflujo como lo muestra la Foto 4.15. • Son muy sensibles a las temperaturas de la mezcla. La acción de procesar material reciclado, a menudo requería aumentar la temperatura de la mezcla de 6°C a 17°C. Pero al hacerlo las plantas comenzaban a emitir humo. • Generan altas temperaturas en la carcasa y el tiempo de mezcla es muy corto. • Sin equipo de recolección todavía no son capaces de satisfacer los requisitos de la nueva normativa americana publicada en el año 1,973 referida a la Ley del Aire Puro, la cual indica niveles menores al 20 % de opacidad y una carga de granos particulados inferior a 1.4 granos/metro cúbico normal seco.
--	---

Tabla 4.4 Ventajas y desventajas de las plantas de tambor de flujo paralelo

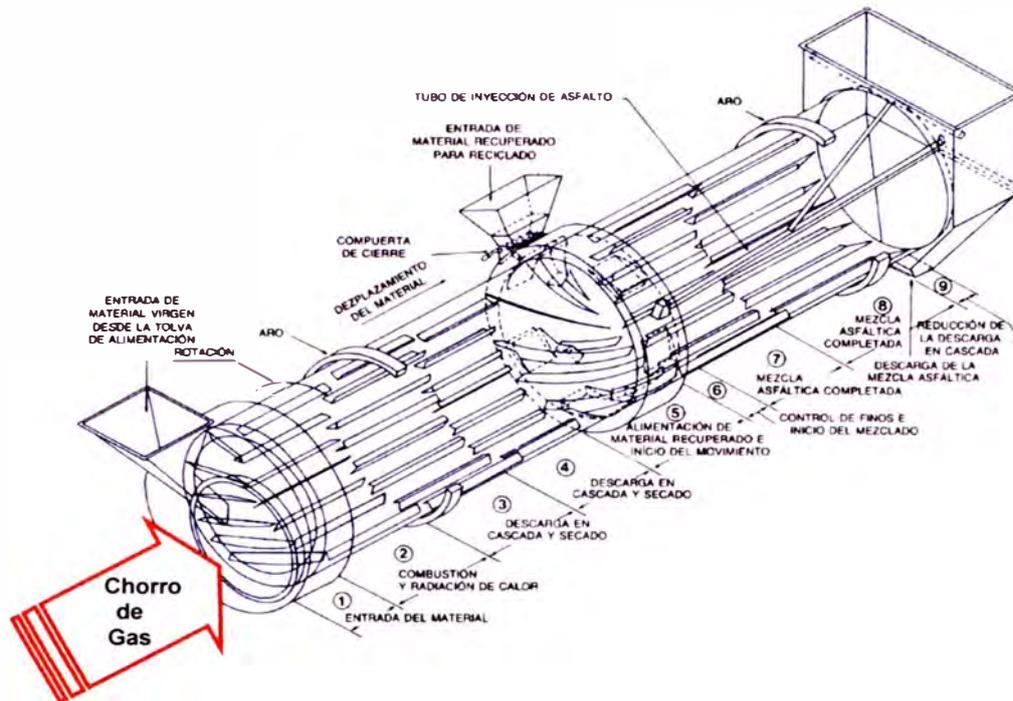


Figura 4.9 *Procesos secuenciales para la producción de la mezcla asfáltica en una planta con tambor mezclador de flujo paralelo*

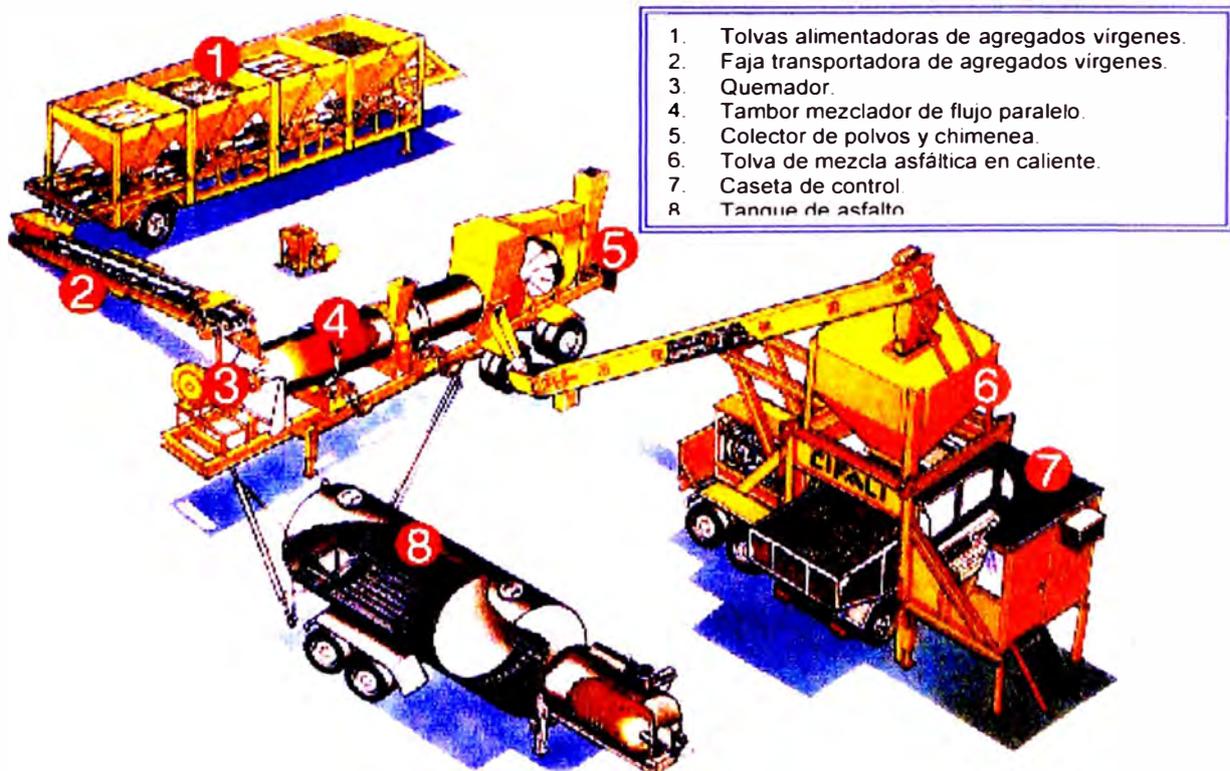


Figura 4.10 *Principales componentes de una planta con tambor mezclador de flujo paralelo*



Foto 4.11 *Sistemas colectores de polvos de tipo venturi por vía húmeda con bomba de agua, son ineficientes y generan problemas al medio ambiente*



Foto 4.12 *La simplificación del sistema reducen costos de inversión en una planta de asfalto de tambor mezclador de flujo paralelo*



Foto 4.13 *Zona de ingreso de RAP en el tambor mezclador de flujo paralelo*

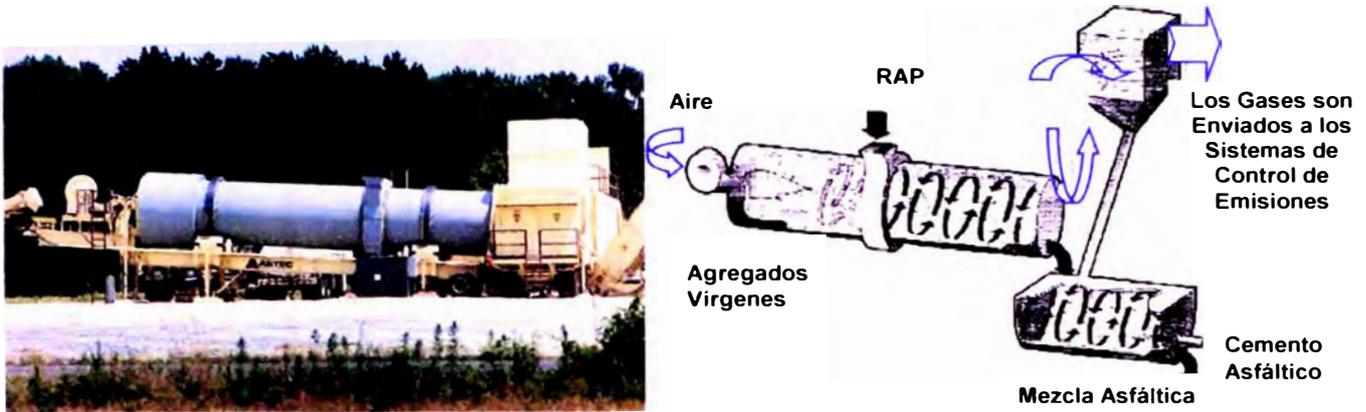


Foto 4.14 Las plantas modernas como DRUM MIX COATER-1 (DMC) incrementaron la longitud efectiva del tambor mezclador



Foto 4.15 Las plantas de asfalto con tambor mezclador de flujo paralelo producen altos niveles de polución debido a las temperaturas muy elevadas en la chimenea

4.2.3 Plantas con tambores mezcladores de contraflujo

A.- Layout de una planta con tambor mezclador de contraflujo

La Figura 4.16 muestra el layout de una planta con tambor mezclador de contraflujo.

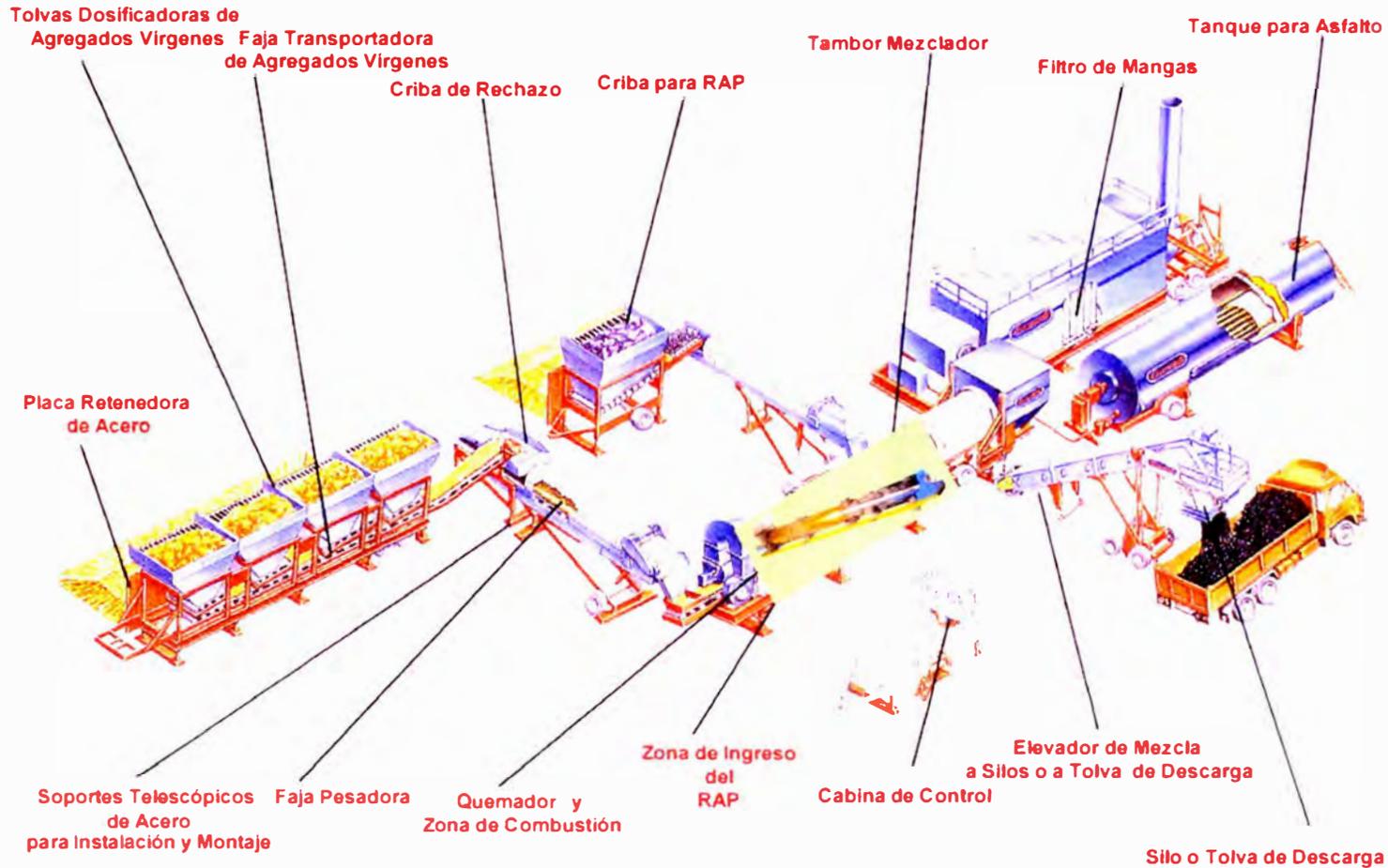


Figura 4.16 Layout de una planta con tambor mezclador de contraflujo

B.- Diagrama de flujo de una planta con tambor mezclador de contraflujo

La Figura 4.17 muestra el diagrama de flujo de los procesos de una planta de tambor de contraflujo, asimismo presenta las principales partes o componentes.

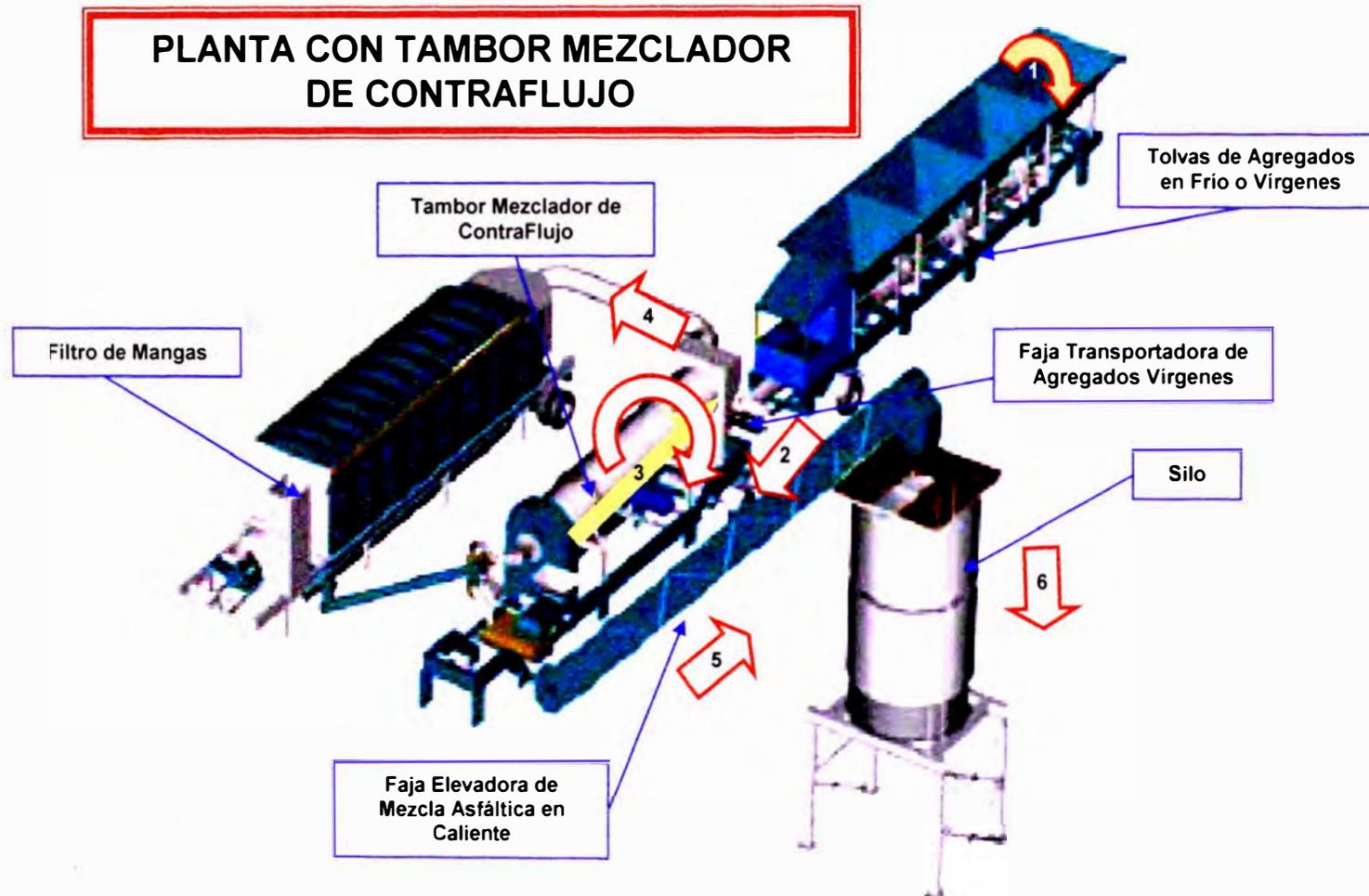


Figura 4.17 Diagrama de flujo de los procesos de una planta de tambor de contraflujo

C.- Ventajas y desventajas de una planta con tambor mezclador de contraflujo

La Tabla 4.5 presenta las ventajas y desventajas de las plantas de tambor de contraflujo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Fueron diseñadas como una alternativa a las plantas de flujo paralelo para buscar una manera de poder agregar el RAP sin incurrir en violaciones legales en los años 1,980 según lo muestra la Foto 4.18. • Los tambores mezcladores de contraflujo, tienen una gran ventaja en cuanto al control de las emisiones. • La transferencia de calor es más eficiente en las plantas de contraflujo porque permite ahorrar energía como lo muestra la Figura 4.19. • El RAP como el cemento asfáltico virgen se introducen detrás de la llama, después de que el secado de los agregados vírgenes se ha completado como lo muestra la Foto 4.20. • Cuando se está en presencia de asfalto (virgen o residual) con Componentes Orgánicos Volátiles (VOCs) no se produce opacidad en el escape, además el humo que produzca el asfalto va a ser arrastrado hacia la llama, donde es incinerado. Por esto se puede incorporar mayor porcentaje de RAP sin causar contaminación visible (opacidad). • Cuando se produce una mezcla con material virgen, la temperatura de los gases en el escape es menor que la temperatura de la mezcla asfáltica. • La temperatura a la entrada del baghouse generalmente se mantiene entre 120 °C y 130 °C. • El DMC-II utiliza un secador de contraflujo en vez del secador de 	<ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de mezcla en el mezclador es relativamente corto. • Anteriormente a los modelos de plantas KA de la desaparecida Barber Greene presentaban problemas de dosificación asfalto-agregados pues ésta se hacía sin una sincronización solamente a criterio del operador y utilizaban una unidad de gradación que las hace engorrosas y de difícil mantenimiento. • No ocurre ninguna mezcla antes de llegar al mezclador independiente. El asfalto líquido virgen caliente, el agregado virgen y el material reciclado frío son inyectados aproximadamente en el mismo punto en el mezclador. • Cuando se usa un porcentaje muy alto de material reciclado, el tiempo corto de mezcla produce una mezcla menos homogénea. • La carcasa del tambor se calienta en extremo durante el supercalentamiento del agregado de 316°C a 343°C. • Existe una corriente de aire fría en el extremo posterior del tambor que no contribuye al proceso de combustión ni de secado, este aire penetra a través de la boca de entrada de los agregados vírgenes inducido por la velocidad de los gases de escape que pasan por ese mismo extremo hacia el baghouse. • El vapor de agua removido del RAP, el cual es introducido al tambor detrás del quemador, se hace pasar a través de la llama. Esto hace que disminuya considerablemente la eficiencia del quemador cuando el contenido de humedad en el RAP es elevado;

<p>flujo paralelo utilizado ya sea en el mezclador de tambor original o un mezclador Drum Mix Coater-I.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las nuevas versiones de estas plantas con mezcladores dobles permiten la introducción del material reciclado antes de que se inyecte el líquido. • Menor tiempo para desarrollar todos los procesos. • El humo generado por los Componentes Orgánicos Volátiles (VOCs), presentes en el cemento asfáltico y el RAP, es arrastrado por la corriente de aire hacia la llama donde son incinerados, al igual que en los otros modelos de contraflujo, logrando reducir la opacidad como lo muestra la Figura 4.21. • La oxidación mediante un secado exterior han sido superados. • Eliminan la unidad de gradación. • Incluyen control electrónico y sistema SCADA. • El peso de materiales se obtiene en seco, antes de entrar al tambor, para corregir inconvenientes de sincronización y variación de humedad. • El control de polvo es de tipo seco, con filtro de mangas o baghouse. • Son fáciles de transportar, no requieren de cimentaciones especiales, son autoeregibles. • Los niveles de ruidos son controlados con dispositivos silenciadores 	<p>además el vapor de agua al mezclarse con los elementos en combustión de la llama aumenta el nivel de emisiones de CO en el escape.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La única fuente de transferencia de calor disponible para secar el RAP y elevar su temperatura, es la conducción por contacto con el agregado virgen súper calentado (por principios de termodinámica, sabemos que la conducción es el menos eficiente, entre los tres modos de transferencia de calor que existen: radiación, convección y conducción; siendo la más eficiente la radiación. • La intensiva radiación de la llama en la zona de combustión no es efectivamente absorbida por el agregado virgen súper calentado debido a su alta temperatura. Gran parte de ese calor se pierde al ambiente a través de las paredes del tambor. • El mantenimiento de la carcasa es muy complicado por la disposición interna de las paletas y componentes. • El régimen de calentamiento requerido por el material reciclado, restringe la productividad de la planta en la medida en que se trata de incrementar el porcentaje de RAP con alta humedad. • Cuando se tiene un alto contenido de humedad en el RAP, todo el vapor que se genera es igualmente arrastrado por la corriente de aire hacia la parte posterior de la llama en el tambor interno afectando negativamente el proceso de combustión y generando gases contaminantes.
--	--

Tabla 4.5 Ventajas y desventajas de las plantas de tambor de contraflujo



Foto 4.18 Planta de asfalto de tambor mezclador de contraflujo

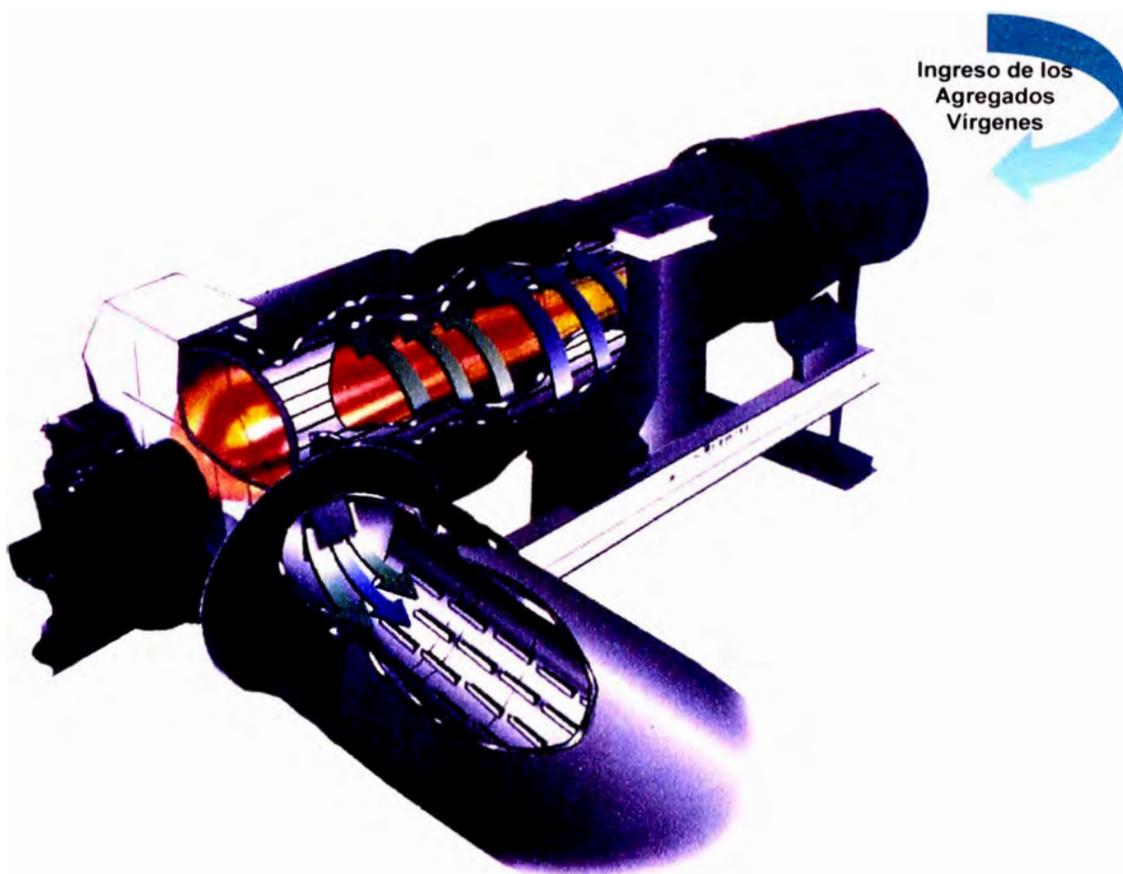


Figura 4.19 La transferencia de calor es más eficiente en un tambor mezclador de contraflujo



Foto 4.20 Ingreso del RAP en tambor mezclador de contraflujo

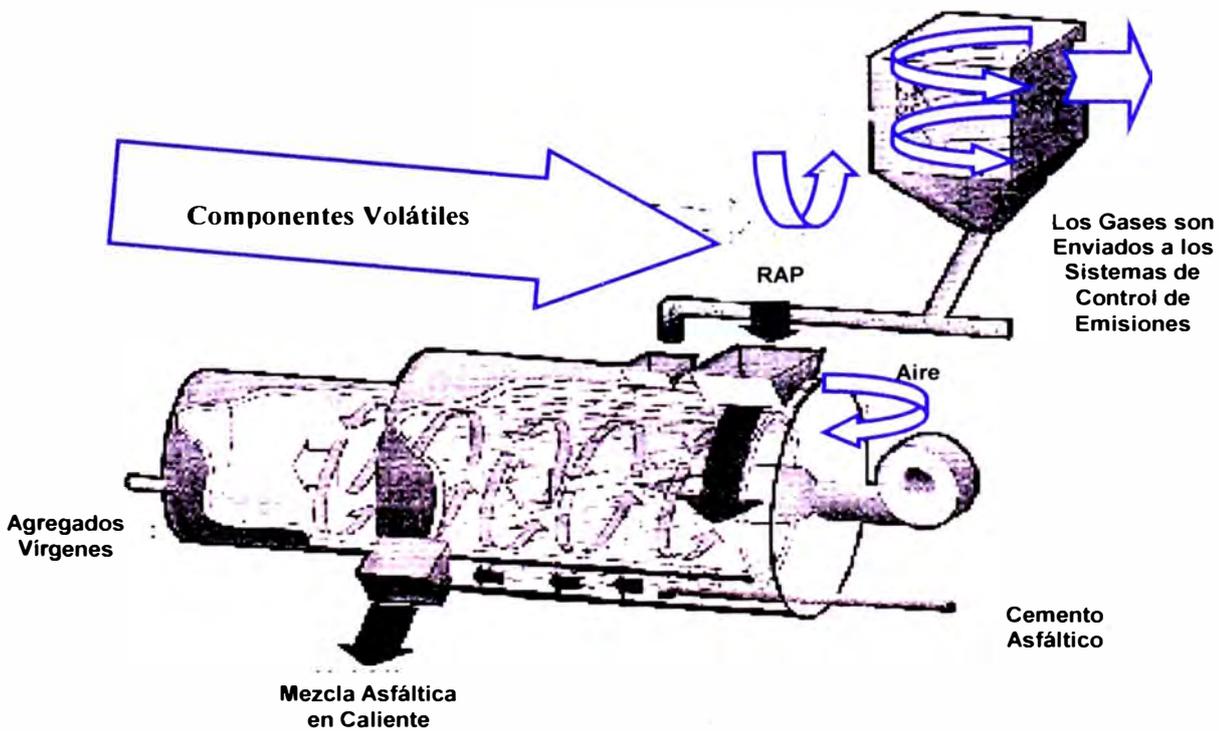


Figura 4.21 Los componentes volátiles son arrastrados por la corriente de aire hacia la llama donde son incinerados

4.2.4 Plantas con tambores mezcladores de contraflujo Double Barrel de ASTEC

A.- Layout de la planta con tambor mezclador de contraflujo Double Barrel de ASTEC

La Figura 4.22 muestra el layout de la planta con tambor mezclador de contraflujo Double Barrel de ASTEC.

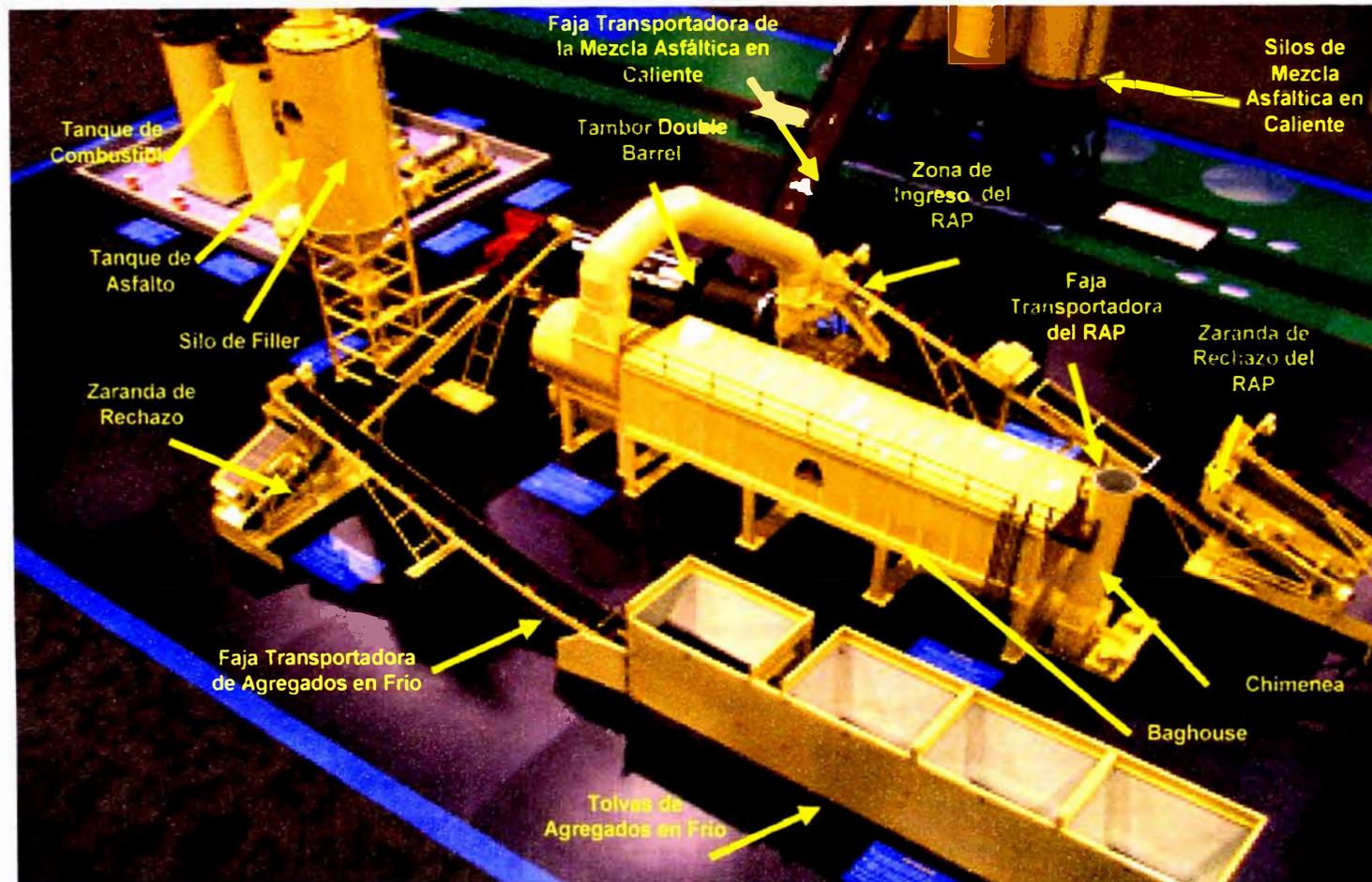
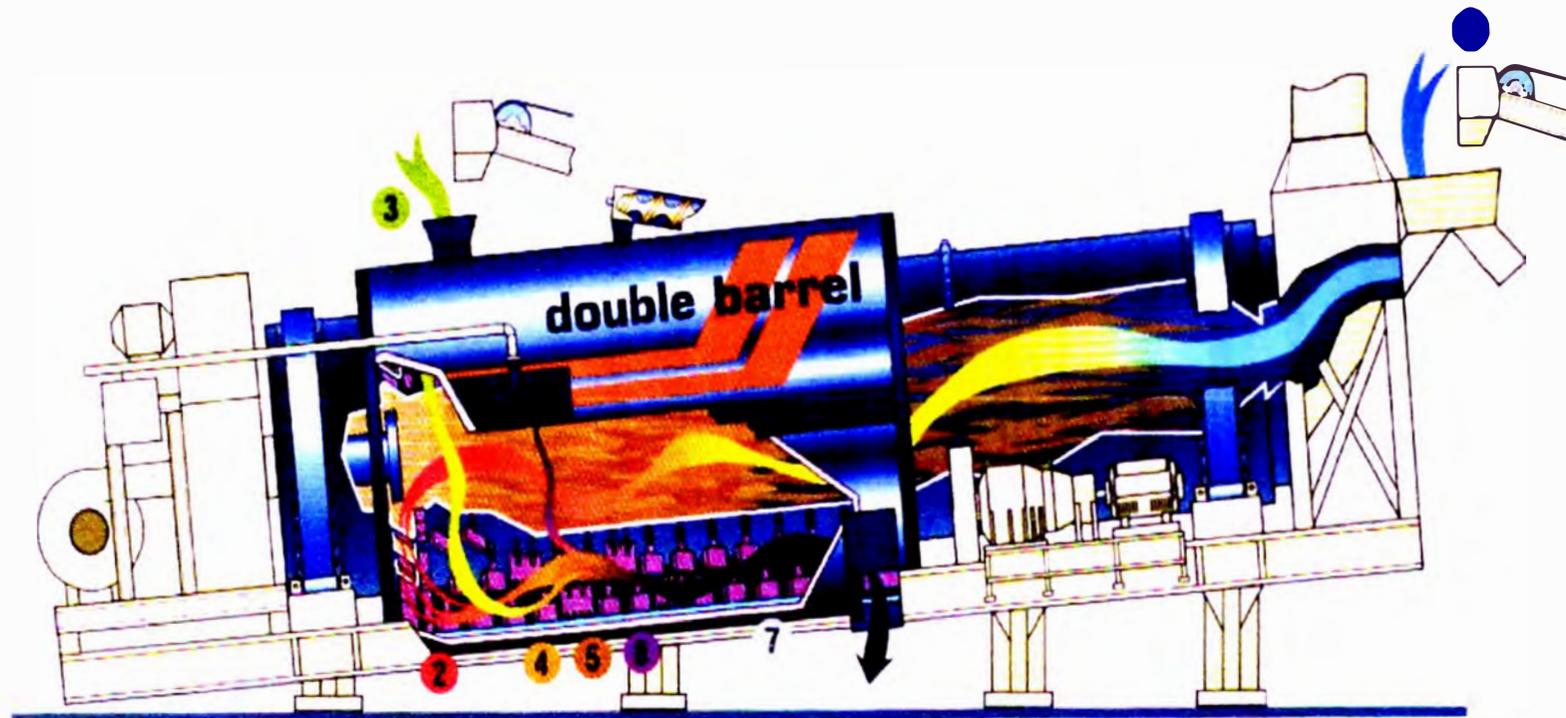


Figura 4.22 Layout de la planta con tambor mezclador de contraflujo Double Barrel de ASTEC

B.- Diagrama de flujo del tambor mezclador de contraflujo Double Barrel de ASTEC

La Figura 4.23 muestra el diagrama de flujo de los procesos del tambor de contraflujo Double Barrel de ASTEC, asimismo presenta las principales partes o componentes.



1. Ingreso del agregado virgen.
2. Supercalentamiento del agregado e ingreso a la cámara de mezclado.
3. Ingreso del RAP.
4. El RAP absorbe el calor del agregado virgen. El calor vaporiza la humedad.
5. El asfalto antiguo se derrite en el RAP y cubre al agregado virgen.
6. El cemento asfáltico se inyecta y reviste al agregado virgen y RAP.
7. Incorporación de filler y salida de la mezcla asfáltica.

Figura 4.23 Diagrama de flujo de los procesos del tambor de contraflujo Double Barrel de ASTEC

C.- Ventajas y desventajas de la planta con tambor mezclador de contraflujo Double Barrel de ASTEC

La Tabla 4.6 presenta las ventajas y desventajas de las plantas de tambor de contraflujo Double Barrel de ASTEC.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Es el modelo de planta de contraflujo de mejor tecnología introducido al mercado por ASTEC en los años 1,990 mostrado en la Foto 4.24. • En el extremo del quemador, el agregado virgen súper calentado cae a través de los orificios en las paredes del tambor interno a un tambor externo estacionario, donde también se agrega el RAP, esta mezcla es forzada a fluir en sentido contrario a la inclinación del tambor (contra la gravedad) por medio de paletas de arrastre que van acopladas al tambor interno, fabricadas de acero especial Ni-Hard para poder soportar la alta abrasión a las que están sometidas según la Foto 4.26. • Es posible secar el agregado virgen en el secador a temperaturas de 260°C a 316°C sin la adición de asfalto líquido. • Reduce las pérdidas de calor por la carcasa del tambor interno en la zona de combustión mostrado en la Foto 4.28. • El 90% del calor para la fusión y el secado del material reciclado provienen del agregado virgen. El otro 10% proviene del calor conducido a través de la carcasa interna y las paletas tambor mezclador en la sección de mezcla. • El calor conducido a través de la carcasa interna a la mezcla impide que la carcasa se sobrecaliente como lo muestra la Foto 4.29. • La carcasa externa del Double Barrel se mantiene a unos 49°C permanentemente debidamente enchaquetada con capas cerámicas y Ni-Hard mostrada en la Foto 4.30. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las paletas aisladoras, que se utilizan para mantener el agregado pegado a las paredes internas del tambor para que no interfiera con la llama, bloquean el calor por radiación, por lo que la transferencia hacia el RAP va a ser por conducción como lo muestra la Foto 4.25. • La transferencia de calor desde el tambor interno mostrado en la Foto 4.27 hacia el tambor externo encuentra tres resistencias importantes: <ul style="list-style-type: none"> a) Resistencia de conducción a través de la pared del tambor interno, la cual tiene que tener un espesor suficientemente grueso para soportar los esfuerzos generados al empujar el material contra la gravedad. b) Resistencia de conducción desde la raíz de las paletas de mezclado hasta su superficie. c) Resistencia de conducción de contacto entre la superficie de la paleta y el RAP frío. • Debido a que el tambor externo es estacionario, el mezclado entre los agregados vírgenes y reciclado se realiza en la parte inferior del tambor externo, por lo que el contacto entre el material y la pared del tambor interno casi no existe, solo las paletas entran en contacto con el material en forma alternada. Debido a esto, el trabajo de secar y calentar el RAP sigue dependiendo principalmente, en este tipo de planta, del material virgen súper

- El asfalto líquido y el material reciclado se colocan en una atmósfera prácticamente inerte lo que significa que hay menos oxígeno y menos humedad en los gases que provoquen el desalojo de las fracciones ligeras.
 - El humo generado por los componentes volátiles (VOC), presentes en el cemento asfáltico y el RAP, es arrastrado por la corriente de aire hacia la llama donde son incinerados, logrando reducir sustancialmente la opacidad.
 - La cámara de mezclado es larga.
 - Ofrece las siguientes ventajas según lo muestra la Foto 4.31:
 - a) Ventajas de Equipo.
 - b) Ventajas de Proceso.
 - c) Ventajas de Reciclado.
 - El tiempo de mezcla es de 75 seg. más largo de lo común de otros tambores que es 15 seg. o menos; es lo suficiente largo para producir una mezcla muy homogénea y de óptima calidad.
 - El tiempo de mezclado en otros mezcladores es solamente El cemento asfáltico se aplica al agregado virgen únicamente después que el exceso de calor del agregado haya sido absorbido por el RAP.
 - Es posible añadir hasta el 50% de RAP a la mezcla y mantener una opacidad de 0% por la chimenea sale vapor de agua como lo muestra la Foto 4.32.
 - El economizador de gas de escape permite el uso de 100% de material virgen y hasta 50% de material reciclado mientras se mantienen las temperaturas de escape lo suficientemente bajas para un secado eficiente del agregado.
 - Reduce drásticamente la oxidación y generación de humos azules.
 - Permite la inclusión de silenciadores de ruidos mostrados en la Foto 4.33.
- calentado y cualquier fuente de calor adicional para el RAP es muy limitada.
- Cuando se tiene un alto contenido de humedad en el RAP, el vapor que se genera es igualmente arrastrado por la corriente de aire hacia la parte posterior de la llama en el tambor interno afectando negativamente el proceso de combustión y generando gases contaminantes.

- Los materiales finos o filler se agregan sólo después que el agregado antiguo y virgen hayan sido revestidos completamente
- Impide que las partículas pequeñas con superficie exterior extraordinariamente grande, absorban una cantidad de cemento asfáltico mayor que la que les corresponda.
- La máxima resistencia máxima de la mezcla asfáltica se obtiene cuando el cemento asfáltico cubre totalmente al agregado de mayor tamaño.
- La mezcla absorbe todo el calor de las superficies del tambor y de las paletas mezcladoras
- La calidad de la mezcla es más resistente, estable y superior.
- Dispone de sistemas computarizados de fácil operación. Basados en modernas computadoras tipo PC bajo ambiente Windows, que interactúan sobre unidades de control lógico programables (PLC) de última generación. Con software especializado de altísima tecnología y sistema SCADA como lo muestra la Foto 4.34.
- Cuando funciona con mezcla virgen, el mezclador Double Barrel produce 15% más toneladas por hora que un secador mezclador de flujo paralelo funcionando con igual flujo de aire.
- Consume 5% menos de combustible. También produce 9% más toneladas por hora que un secador mezclador de contraflujo convencional y consume 3% menos combustible.
- El montaje es fácil, sencillo, los componentes son autoeregibles como lo muestra la Foto 4.35.
- No necesitan cimentaciones especiales, las tolvas de agregados y de mezcla tienen tabiques especiales como lo expone la Foto 4.36.

Tabla 4.6 *Ventajas y desventajas de las plantas de tambor de contraflujo Double Barrel de ASTEC*



Foto 4.24 Moderna planta de asfalto con tambor mezclador de contraflujo Double Barrel de ASTEC



Foto 4.25 Paletas Mezcladoras Externas del Tambor Mezclador de ContraFlujo Double Barrel de ASTEC mostradas por el Ing. Carlos Suárez Director of Sales de ASTEC



Foto 4.26 Tambor mezclador de contraflujo Double Barrel con la paletas de arrastre de Ni-Hard mostradas por el Ing. Hugo Miranda y Sr. Cristian Korn en las instalaciones de ASTEC en Chattanooga Tennessee E.U.A

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGIA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"



Foto 4.27 Parte interna del tambor mezclador correspondiente a la zona de combustión del Double Barrel

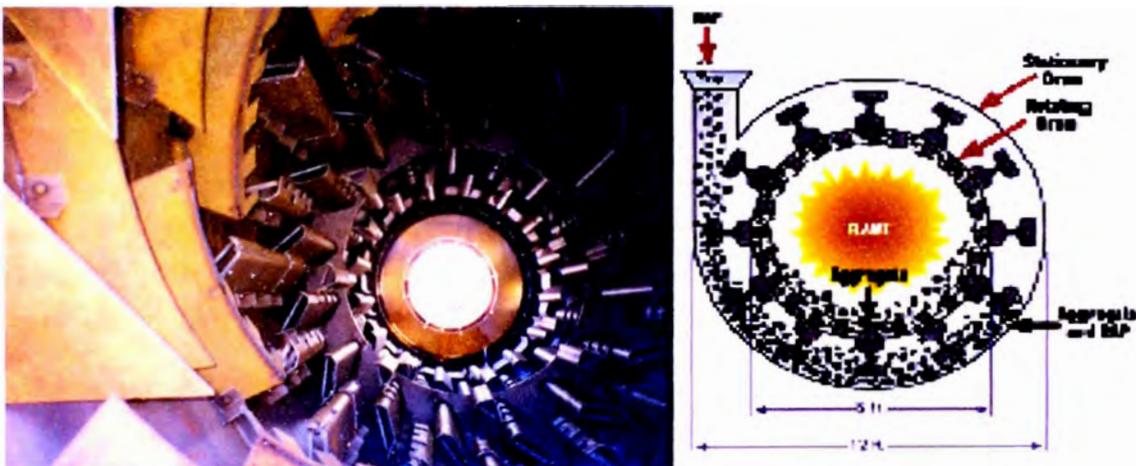


Foto 4.28 Estructura interna y sección transversal del tambor secador Double Barrel

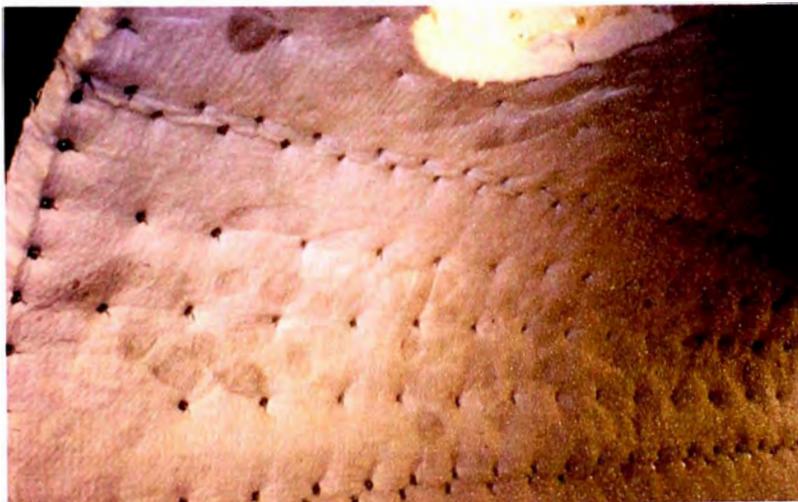


Foto 4.29 Revestimiento de la carcasa externa debidamente enchaquetada



Foto 4.30 *Carcasa externa del tambor enchaquetada con capas cerámicas y Ni-Hard*



Foto 4.31 *La planta de asfalto ASTEC ofrece ventajas de equipo, proceso y reciclado*

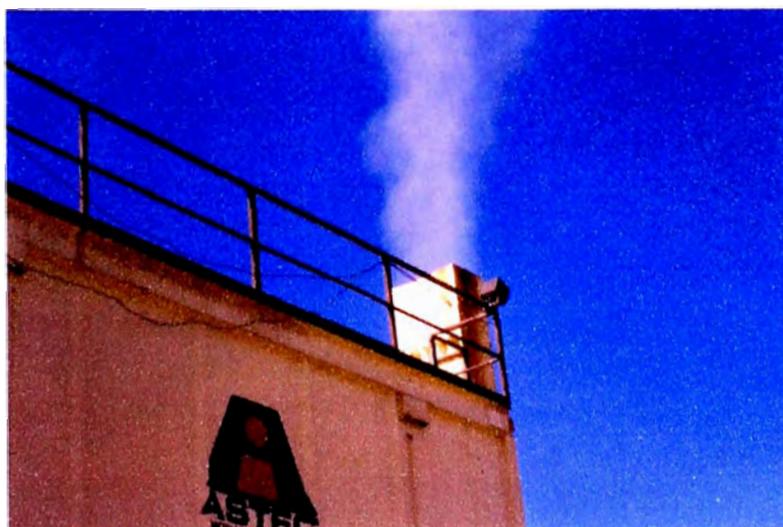


Foto 4.32 *Salida de vapor de agua por la chimenea de la planta ASTEC con 0% de opacidad*

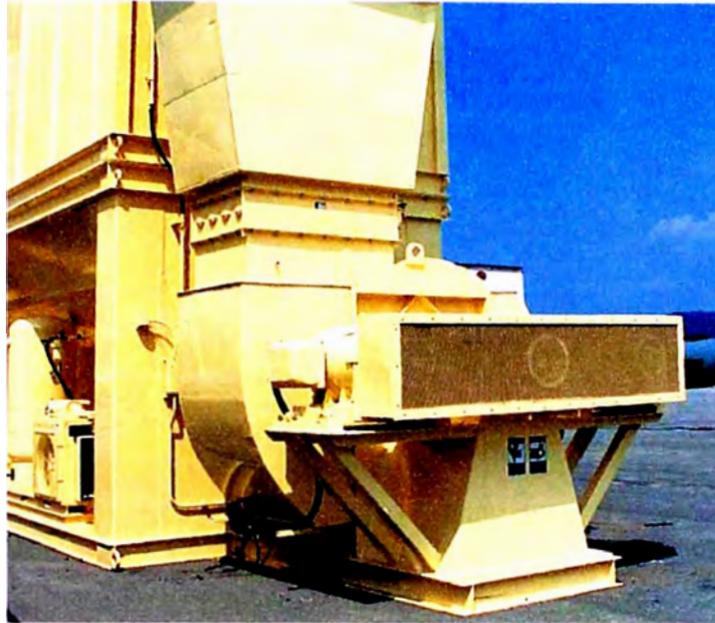


Foto 4.33 Silenciadores de ruidos que se pueden incorporar a la planta de asfalto ASTEC



Foto 4.34 Sistemas computarizados y SCADA de la planta de asfalto ASTEC

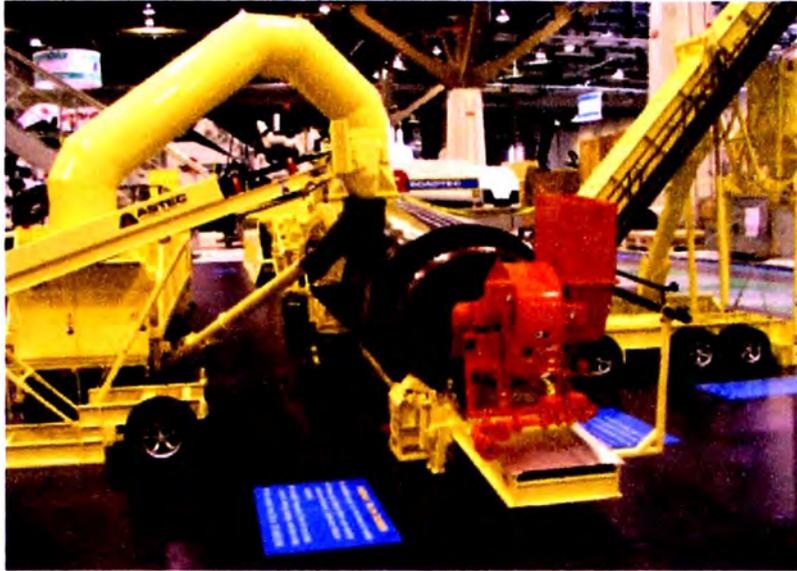


Foto 4.35 El montaje es fácil y sencillo de la planta de asfalto ASTEC

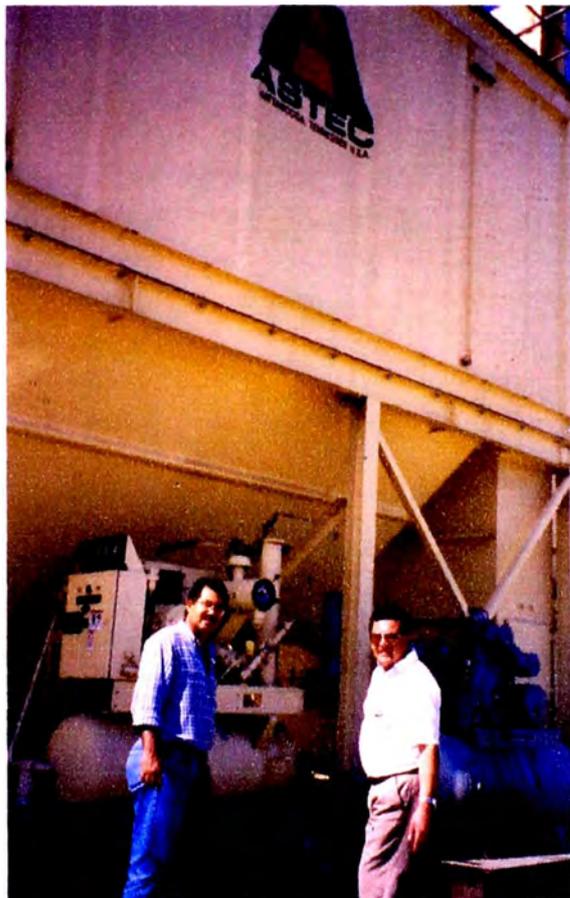


Foto 4.36 Inspección de las cimentaciones, tabiques y estructuras del baghouse de la planta de asfalto Double Barrel de la Empresa Tito Castro en PONCE PUERTO RICO

4.2.5 Plantas con tambor mezclador de contraflujo Triple Drum de CMI

A.- Layout de la planta con tambor mezclador de contraflujo Triple Drum de CMI

La Figura 4.37 muestra el layout de la planta con tambor mezclador de contra flujo Triple Drum de CMI.

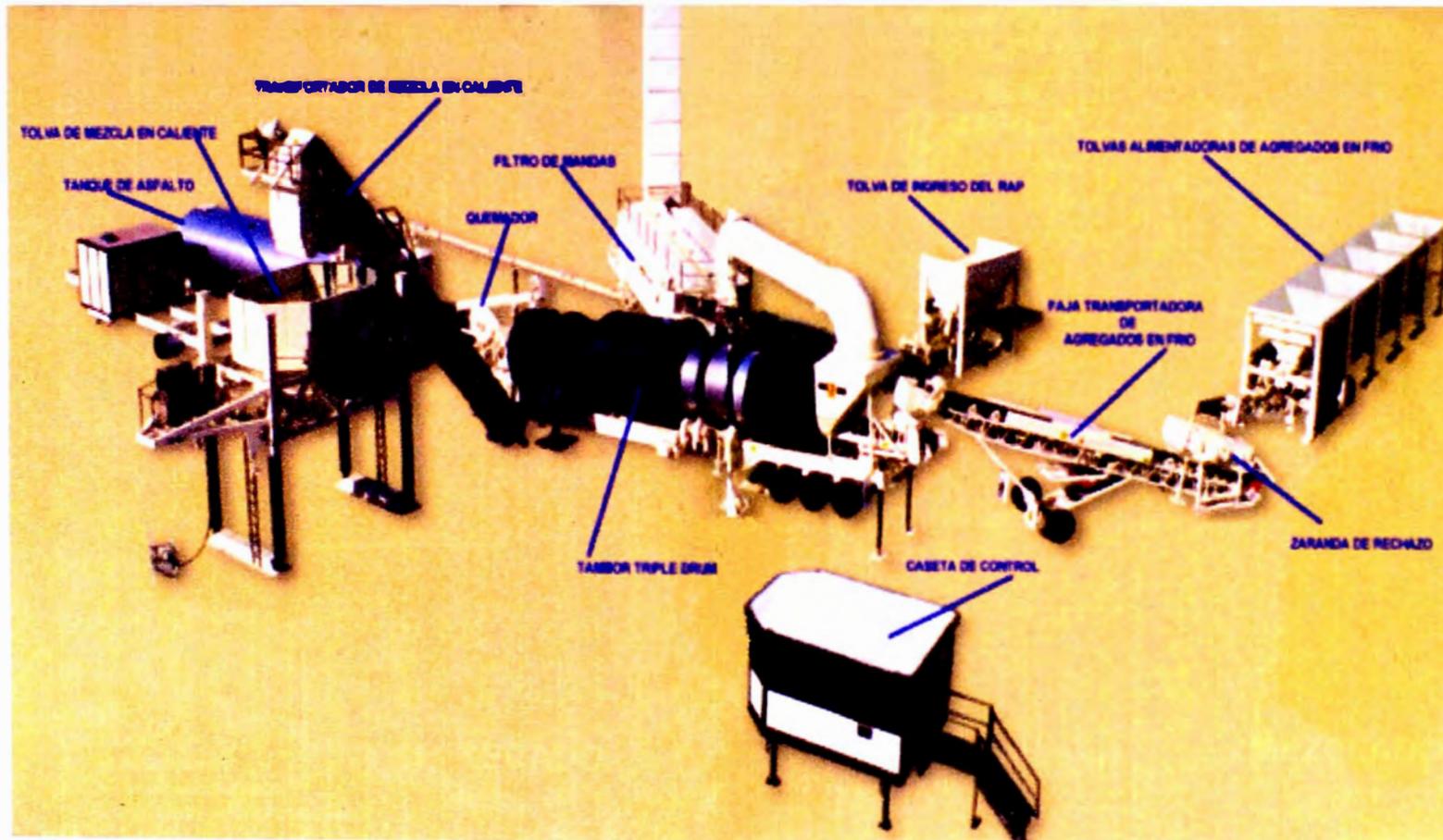


Figura 4.37 Layout de la planta con tambor mezclador de contra flujo Triple Drum de CMI

B.- Diagrama de flujo del tambor mezclador de contraflujo Triple Drum de CMI

La Figura 4.38 presenta el diagrama de flujo de los procesos del tambor de contraflujo Triple Drum de CMI.

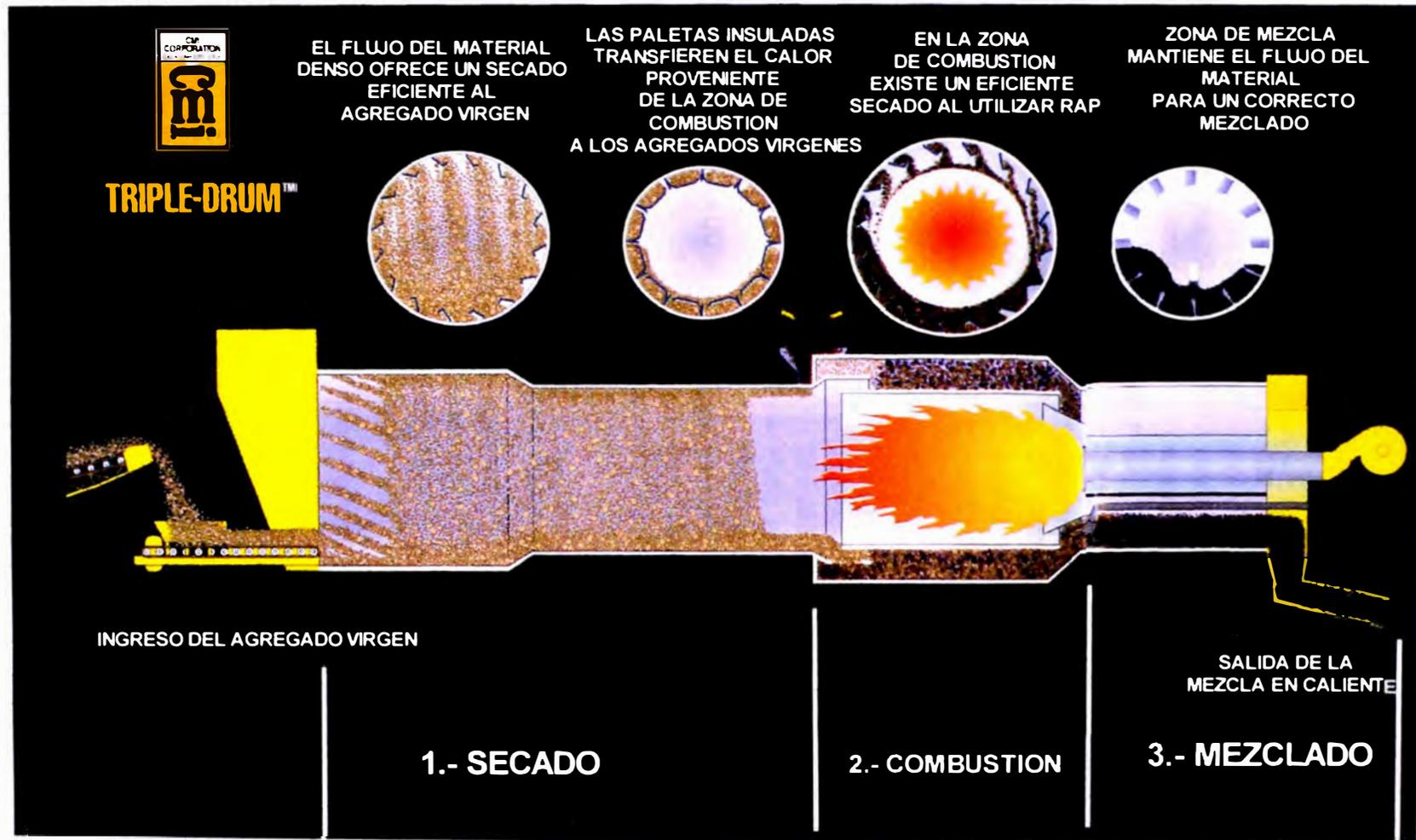


Figura 4.38 Diagrama de flujo de los procesos del tambor de contraflujo Triple Drum de CMI

C.- Ventajas y desventajas de la planta con tambor mezclador de contraflujo Triple Drum de CMI

La Tabla 4.7 presenta las ventajas y desventajas de las plantas de tambor de contraflujo Triple Drum de CMI.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Fue introducido al mercado en el año 1,993 por CMI. con el fin de incorporar elevados porcentajes de RAP a la mezcla y a la vez cumplir con las exigentes normas ambientales como lo presenta la Foto 4.39. • Corresponde a unos de los tres diseños de tambores de contraflujo modernos por su eficiencia en la producción de mezclas asfálticas mostrado en la Figura 4.40. • Tres zonas bien diferenciadas mostradas en la Figura 4.41: <ul style="list-style-type: none"> a) Zona de secado de agregados. b) Zona de combustión y secado de RAP. c) Zona de mezclado. • Producen mezclas con 100% material virgen y con más del 50% de RAP. • Producen mezclas con alto porcentaje de RAP en condiciones de elevada humedad, sin generar opacidad ni gases contaminantes y con altos niveles de productividad y eficiencia en el consumo de combustible según la Foto 4.43. • Tiene una sección expandida en ese extremo que causa una disminución en la velocidad de los gases, esto hace que aumente la productividad, y disminuye la cantidad de finos arrastrados hacia los colectores de polvo. • Los agregados se encuentran con una reducción en el diámetro donde la velocidad de los gases es mayor y la cortina de material se hace más densa, esto acelera el proceso de secado de los agregados e incrementa la eficiencia como lo muestra la Foto 4.44. 	<ul style="list-style-type: none"> • La transferencia del calor es por conducción entre los materiales que contribuyen con el proceso de secado del RAP. • El tiempo de mezcla es relativamente corto. • Están diseñadas para la producción de grandes volúmenes de mezclas asfáltica sobre la 300 tph. • Algunos de sus componentes no son autoeregibles. • Requiere mayores espacios y volúmenes de carga para realizar la transportabilidad como lo muestra la Foto 4.42. • Para el montaje se requieren el uso de grúas. • El precio de adquisición es mayor que las plantas de contraflujo convencionales.

- Al final de la zona de secado, el diseño de las paletas aisladoras atrapa el agregado para que se mantenga pegado a la pared interna del tambor y luego los transfiere a la zona de combustión; de esta manera absorben el calor radiante y se disminuyen las perdidas hacia la superficie.
- El anillo y el tambor rotan al mismo paso y las paletas en esta zona hacen que el material se mueva sobre toda la circunferencia de esta cámara para maximizar la exposición del material con la superficie del anillo.
- La longitud de la zona de mezclado, la cantidad y forma de las paletas están diseñadas para garantizar el total cubrimiento de todas las partículas de agregado con el cemento asfáltico antes que la mezcla salga del tambor.
- El vapor de agua que se genera junto con el humo que pueda producirse por el contenido de Componentes Orgánicos Volátiles (VOCs) en el asfalto, es arrastrado por la corriente de aire.
- Se generan altas temperaturas por encima de los $1,300^{\circ}\text{C}$ y los componentes volátiles son incinerados antes de que entren a la sección donde el agregado virgen forma la cortina de material mostrado en la Figura 4.45.
- La temperatura superficial en el anillo de combustión es aproximadamente de 850°C , la cual seca y calienta al agregado reciclado frío en la medida en que este cae sobre su superficie externa; solo este anillo transfiere calor al RAP a razón de 10-30 millones de Btu/Hr.
- Se pueden lograr temperaturas de los gases de escape mucho más bajas en un rango más amplio de condiciones operativas y con un mínimo consumo de combustible.

Tabla 4.7 Ventajas y desventajas de las plantas de tambor de contraflujo Triple Drum de CMI



Foto 4.39 Planta de asfalto con tambor mezclador de contraflujo triple Drum de CMI

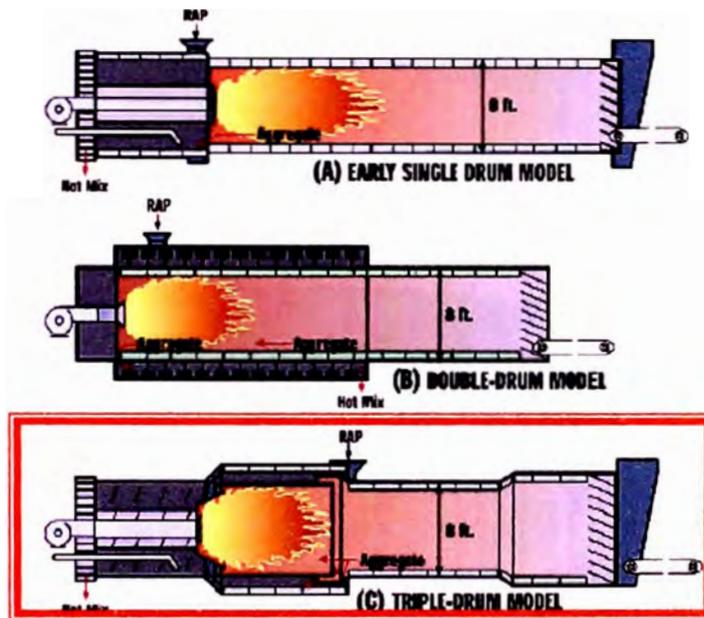


Figura 4.40 El tambor Triple Drum corresponde a uno de los tres diseños modernos de tambores mezcladores de contraflujo

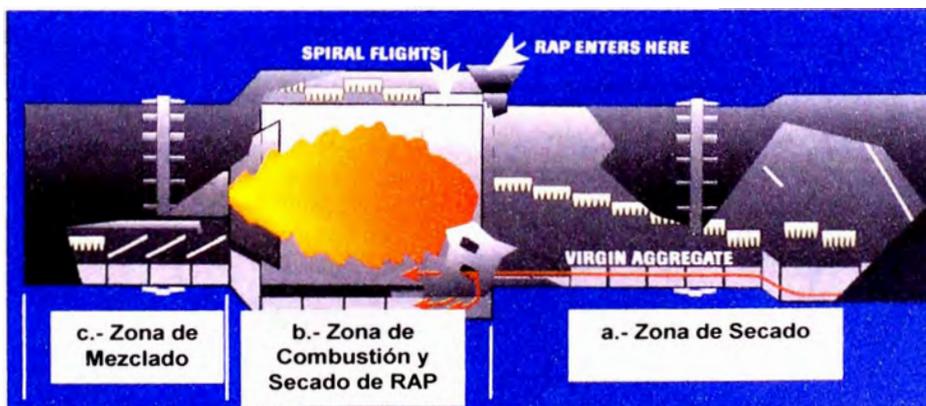


Figura 4.41 Tres zonas bien diferenciadas: a) zona de secado de agregados, b) zona de combustión y secado de rap y c) zona de mezclado



Foto 4.42 Requiere mayores espacios y longitudes para la transportabilidad

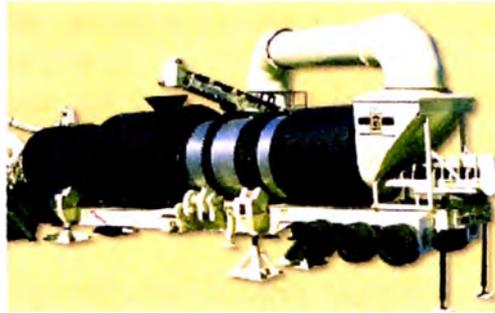


Foto 4.43 El tambor mezclador de contraflujo Triple Drum de CMI produce mezclas asfálticas de calidad



Foto 4.44 El tambor mezclador de contraflujo Triple Drum de CMI tiene distintos diámetros para cada zona

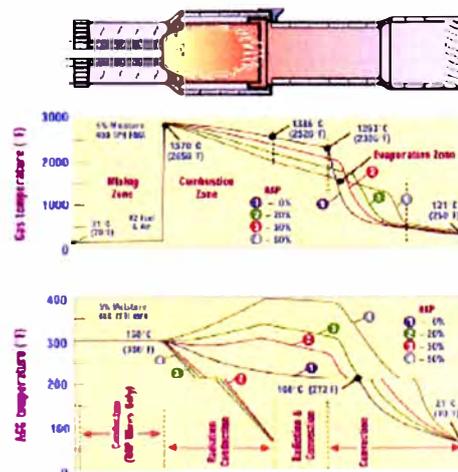


Figura 4.45 Curvas de temperatura de un tambor mezclador Triple Drum de 400 tph con un contenido de humedad del 5% en los agregados vírgenes y 5% en el RAP

4.3 Matriz de ponderación y selección técnica de la mejor alternativa tecnológica

La técnica que utilizaremos para seleccionar la mejor alternativa tecnológica es el Método de los Puntaje Ponderados. Es una técnica usual para elegir entre varias alternativas aquella que ofrezca las mejores condiciones o ventajas comparativas y competitivas. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Identificar los factores tecnológicos principales.
- Asignar el coeficiente de ponderación según la importancia relativa a la tecnología, costos, impactos, calidad, etc.
- Asignar estimativamente un puntaje a cada alternativa usando una escala de calificación.
- Multiplicar el puntaje de cada alternativa por el respectivo coeficiente de ponderación y sumar los valores totales.

La Tabla 4.8 presenta los principales factores tecnológicos con sus correspondientes coeficientes de ponderación y la Tabla 4.9 está referida a la escala de calificación.

FACTORES	COEFICIENTE DE PONDERACIÓN
TECNOLOGÍA DEL TAMBOR DE CONTRAFLUJO	10
TECNOLOGÍA DEL TAMBOR DE FLUJO PARALELO	8
FACILIDAD PARA TRANSPORTABILIDAD	9
FACILIDAD PARA EL MONTAJE	7
TAMAÑO DE PLANTA	8
TABIQUES EN TOLVAS	2
COMPONENTES AUTOEREGIBLES	3
EFICIENCIA DEL RAP	8
NIVELES DE OPACIDAD	10
CALIDAD DE MEZCLA	9
SISTEMA SCADA	8
COSTO DE ADQUISICION	8
COSTO DE OPERACION	6
COSTO DE MANTENIMIENTO	5
COSTOS DE CALIDAD	9
EFICIENCIA ENERGÉTICA	8
COSTOS AMBIENTALES	10
FILTRO DE MANGAS	8
LAVADORA DE HUMEDOS	1
VALOR DE RESIDUAL	4

Tabla 4.8 Ponderación de factores tecnológicos

ESCALA	CONSIDERACIÓN
0	MUY MALA
2	MALA
4	REGULAR
6	BUENA
8	MUY BUENA

Tabla 4.9 Escala de calificación

La Tabla 4.10 presenta la calificación no ponderada para cada uno de los factores tecnológicos que intervienen en la evaluación de cada alternativa tecnológica.

FACTORES	COEFICIENTE DE PONDERACIÓN	BATCH PLANTAS	PLANTAS CON TAMBORES MEZCLADORES DE FLUJO PARALELO	PLANTAS CON TAMBORES MEZCLADORES DE CONTRA FLUJO	PLANTAS CON TAMBOR MEZCLADOR DE CONTRA FLUJO DOUBLE BARREL DE ASTEC	PLANTAS CON TAMBOR MEZCLADOR DE CONTRA FLUJO TRIPLE DRUM DE CMI
TECNOLOGÍA TAMBOR DE CONTRAFLUJO	10	6	0	6	8	8
TECNOLOGÍA TAMBOR DE FLUJO PARALELO	8	0	8	0	0	0
FACILIDAD PARA TRANSPORTABILIDAD	9	2	6	6	8	4
FACILIDAD MONTAJE	9	2	4	6	8	8
TAMAÑO DE PLANTA	8	2	4	6	6	6
TABIQUES EN TOLVAS	2	0	0	2	6	6
COMPONENT. AUTOEREGIBLES	3	0	2	4	8	6
EFICIENCIA DEL RAP	8	2	2	6	8	8
NIVELES DE OPACIDAD	10	2	2	4	8	8
PRODUCTO FINAL	10	8	6	6	8	8
SISTEMA SCADA	8	2	2	4	8	8
COSTO DE ADQUISICION	8	2	6	4	4	2
COSTO DE OPERACION	6	2	4	4	6	4
COSTO DE MANTENIMIENTO	5	2	6	6	8	6
COSTOS DE CALIDAD	10	4	4	4	6	4
EFICIENCIA ENERGETICA	8	2	4	4	6	6
COSTOS AMBIENTALES RUIDOS, LIMPIEZA PROCESOS	10	2	2	4	8	6
FILTRO DE MANGAS	8	4	0	4	8	8
LAVADORA DE HUMEDOS	1	8	0	2	8	8
VALOR DE RESIDUAL	4	6	2	6	6	6

Tabla 4.10 Calificación no ponderada

La Tabla 4.11 presenta la calificación ponderada para cada uno de los factores tecnológicos que intervienen en la evaluación de cada alternativa tecnológica.

FACTORES	BATCH PLANTAS	PLANTAS CON TAMBORES MEZCLADORES DE FLUJO PARALELO	PLANTAS CON TAMBORES MEZCLADORES DE CONTRA FLUJO	PLANTAS CON TAMBOR MEZCLADOR DE CONTRA FLUJO DOUBLE BARREL DE ASTEC	PLANTAS CON TAMBOR MEZCLADOR DE CONTRA FLUJO TRIPLE DRUM DE CMI
TECNOLOGIA TAMBOR DE CONTRAFLUJO	60	0	60	80	80
TECNOLOGIA TAMBOR DE FLUJO PARALELO	0	64	0	0	0
FACILIDAD PARA TRANSPORTABILIDAD	18	54	54	72	36
FACILIDAD MONTAJE	18	36	54	72	72
TAMAÑO DE PLANTA	16	32	48	48	48
TABIQUES EN TOLVAS	0	0	4	12	12
COMPONENT. AUTOEREGIBLES	0	6	12	24	18
EFICIENCIA DEL RAP	16	16	48	64	64
NIVELES DE OPACIDAD	20	20	40	80	80
PRODUCTO FINAL	80	60	60	80	80
SISTEMA SCADA	16	16	32	64	64
COSTO DE ADQUISICION	16	48	32	32	16
COSTO DE OPERACION	12	24	24	36	24
COSTO DE MANTENIMIENTO	10	30	30	40	36
COSTOS DE CALIDAD	40	40	40	60	40
EFICIENCIA ENERGETICA	16	32	32	48	48
COSTOS AMBIENTALES RUIDOS, LIMPIEZA PROCESOS	20	20	40	80	60
FILTRO DE MANGAS	32	0	32	64	64
LAVADORA DE HUMEDOS	8	0	2	8	8
VALOR DE RESIDUAL	24	8	24	24	24
TOTAL	422	506	668	988	874

Tabla 4.11 Calificación ponderada

4.4 Descripción de la alternativa tecnológica de la planta de asfalto seleccionada

Según los resultados obtenidos en la Tabla 4.11, la mejor alternativa tecnológica corresponde a las plantas con tambor mezclador de contraflujo Double Barrel de ASTEC mostrado en la Foto 4.46 alcanzando el puntaje total de 988 puntos. Por lo tanto, se detalla a continuación las características fundamentales de los componentes y partes que conforman las Plantas de Asfalto Six Pack con Tambor Mezclador Double Barrel de ASTEC, con el objetivo principal que este tipo de plantas puedan trabajar y operar en el Perú en concordancia con la topografía, altitud, clima y realidades propias de cada región.



Figura 4.46 Planta de Asfalto Double Barrel de contraflujo de ASTEC

Las grandes ideas no surgen al azar, sino que se forjan por la necesidad de tener mejores cosas o productos. Así ha sido desde el principio. Desde la creación de la rueda hasta la del circuito integrado más minúsculo, los inventos más grandes han sido el resultado de un procedimiento paso por paso de descubrimiento e iluminación basado en los triunfos y fracasos pasados. Esta capacidad de adaptación y cambio ahora más que nunca es una necesidad. Y, después de todo, la necesidad es la madre de la invención.

El proceso de innovación como resultado de una necesidad, obligó a ASTEC a inventar el mezclador de tambor de contraflujo Double Barrel. Los secadores mezcladores anteriores alteraron la industria de mezcla de asfalto caliente al ofrecer altas tasas de producción, ser portátiles y permitir un alto porcentaje de material reciclado en la mezcla. Sin embargo, cada uno de estos primeros secadores mezcladores también dieron origen a nuevos problemas. Algunos no cumplían con los más estrictos códigos de contaminación ambiental, otros tenían gases de escape de temperaturas elevadas y otros no eran capaces de aceptar más aditivos.

Desde los primeros días, las plantas de producción por pesadas o batch plants siempre han incluido un secador de contraflujo para secar el agregado mostrado en la Figura 4.47. Este método de secado ha demostrado ser el de menor costo porque generaba las temperaturas de escape más bajas.

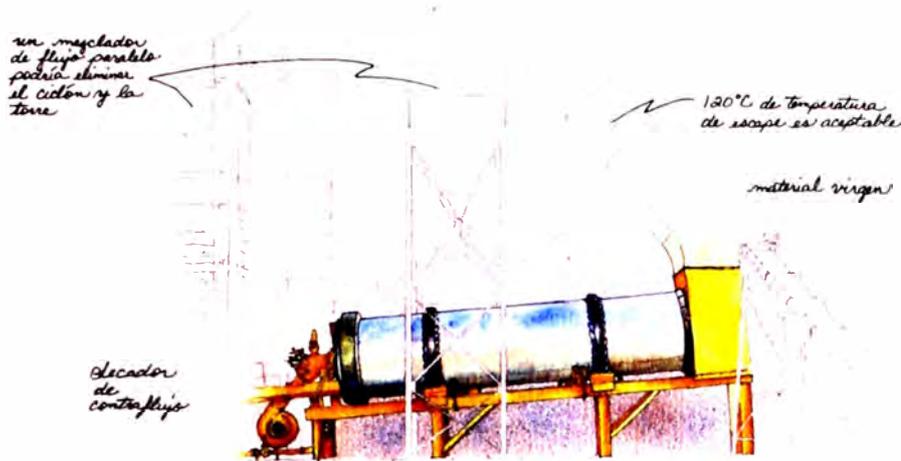


Figura 4.47 Secador de contraflujo de las batch plant

Las instalaciones de plantas de producción por pesadas producen mezclas de alta calidad y son capaces de alterar la mezcla en volúmenes tan pequeños como la mitad de la carga de un camión. El único problema que presentan estas plantas es la cantidad de mantenimiento que su torre y elevador requieren permanentemente.

Debido al mantenimiento asociado con las plantas de producción por pesadas o batch plants, los ingenieros de ASTEC buscaron maneras de reducir estos costos y así llegaron a la conclusión de que era necesario tener un mezclador secador de uso continuo. Las primeras instalaciones de secador mezclador eran de flujo paralelo mostradas en la Figura 4.48 y se auguraban como plantas de asfalto de baja temperatura y exentas de polvo.



Figura 4.48 Secador de flujo paralelo tradicional

Cuando surgió este tipo de plantas, el control de la contaminación ya era un problema significativo de la industria. Estas plantas ayudaron a resolver algunos de los problemas de mantenimiento asociados con la planta de producción por pesadas al carecer de la sección de la torre. Los secadores mezcladores de flujo paralelo supuestamente permitían que la temperatura de la mezcla fuera más baja, lo cual reduciría los costos del secado.

Sin embargo, se descubrió que para producir una mezcla de igual calidad que aquella de las plantas de producción por pesadas era necesario elevar la temperatura a 149°C la misma temperatura de mezcla usada en las plantas de producción por pesadas o batch plants. Esto obligó a instalar el mismo equipo de control de contaminación del aire utilizado en estas plantas.

La industria del asfalto comenzó a buscar maneras de reducir el costo de su producto, lo cual llevó a la incorporación de pavimento asfáltico reciclado (RAP) a la mezcla, cerca del centro del tambor como lo muestra la Figura 4.49. Esto se lograba ya sea a través de una entrada al interior del tambor, o por medio de un transportador en el interior del tambor, lo cual permitía sustituir un porcentaje de material virgen con material reciclado. La mezcla resultante era de igual calidad que aquella producida con 100% de material virgen y era más barata.

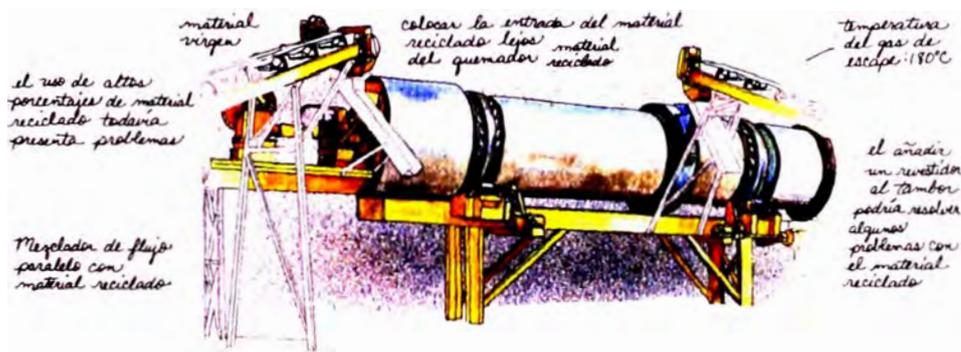


Figura 4.49 Mezclador de flujo paralelo con ingreso de RAP

Sin embargo, el uso de RAP generó una variedad de problemas. La humedad, los aceites en el RAP y el aceite liviano en el asfalto virgen, que es más suave que lo normal, causaban la generación de humo al introducir este material en la corriente de gas de alta temperatura. Se tomó un número de medidas para intentar reducir la temperatura en el tambor de modo que se eliminara el humo.

La entrada del material reciclado se desplazó hacia el extremo de descarga, se ajustaron las paletas, se alteró la inclinación del tambor, y cosas por el estilo. Sin embargo, ninguna de éstas resolvió completamente el problema de la generación de humo.

Fue alrededor de esta época que los productores observaron un cambio en la viscosidad del producto de asfalto líquido. En algunos casos los asfaltos duros se suavizaban al añadirles aceites livianos. Estos aceites livianos causaban la evaporación del asfalto suavizado y generaban humo en el tambor a temperaturas menores que cuando se usaba asfalto con mayor dureza. Por este motivo, los ingenieros de ASTEC añadieron un revestidor al tambor mostrado en la Figura 4.50.

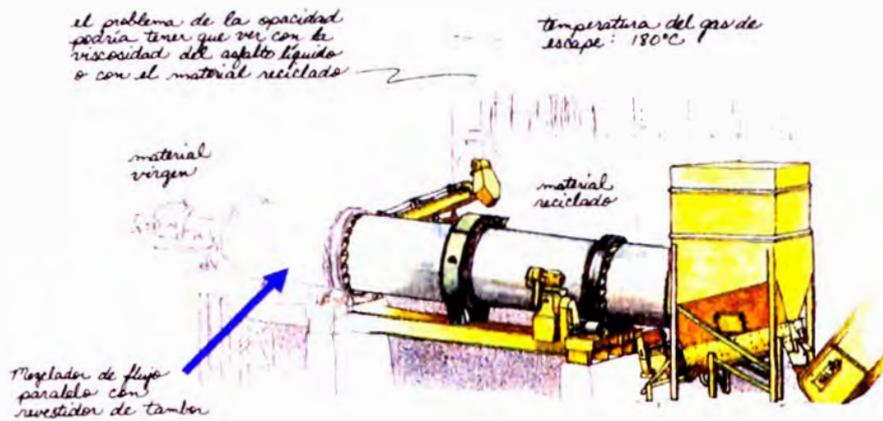


Figura 4.50 Mezclador de flujo paralelo con revestidor de tambor

El asfalto líquido se aplicaba al agregado en el revestidor y el RAP se introducía en el centro del tambor. Esto impedía que el asfalto nuevo quedara expuesto a las altas temperaturas que causaban la generación de humo. Desafortunadamente, no era posible alejar el RAP de las condiciones en el interior del secador mezclador, lo cual causaba la generación de humo.

Para eliminar de una vez por todas el dañino problema de la generación de humo, se determinó que era necesario colocar todo el material - el material reciclado, el agregado virgen y el asfalto líquido - en el revestidor mostrado en la Figura 4.51.

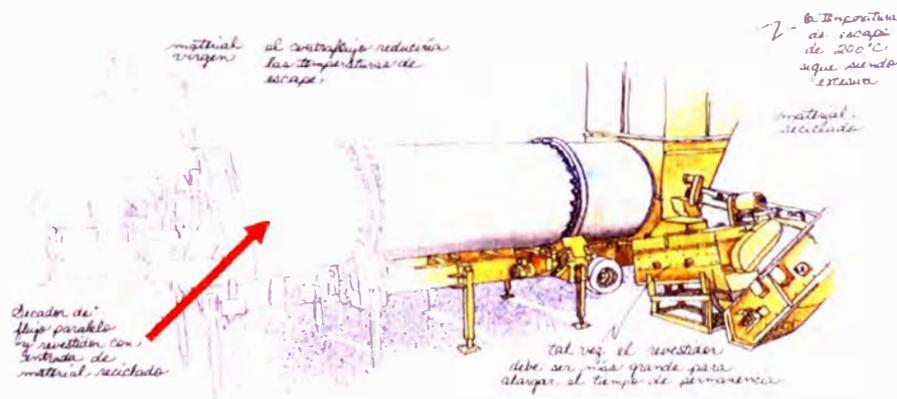


Figura 4.51 Secador de flujo paralelo y revestidor con ingreso de RAP

Esto se logró primero usando un secador mezclador de flujo paralelo. Para poder crear temperaturas suficientemente altas en el agregado con el mezclador de flujo paralelo, era necesario producir temperaturas altas de escape. Esto creó un problema en la cámara de filtros. Los filtros no podían resistir las altas temperaturas de escape que a veces excedían los 200°C.

Además, la producción de estas temperaturas era antieconómica. La producción de una temperatura de escape de 200°C. Además, la producción de estas temperaturas era antieconómica. La producción de una temperatura de escape de 200°C, en comparación con una temperatura de 120°C, puede consumir hasta tres cuartos de litro de combustible N° 2 por cada tonelada de mezcla. Para reducir estas temperaturas, los

ingenieros de ASTEC diseñaron un secador de contraflujo y un revestidor de tamaño grande en el extremo de descarga mostrado en la Figura 4.52.

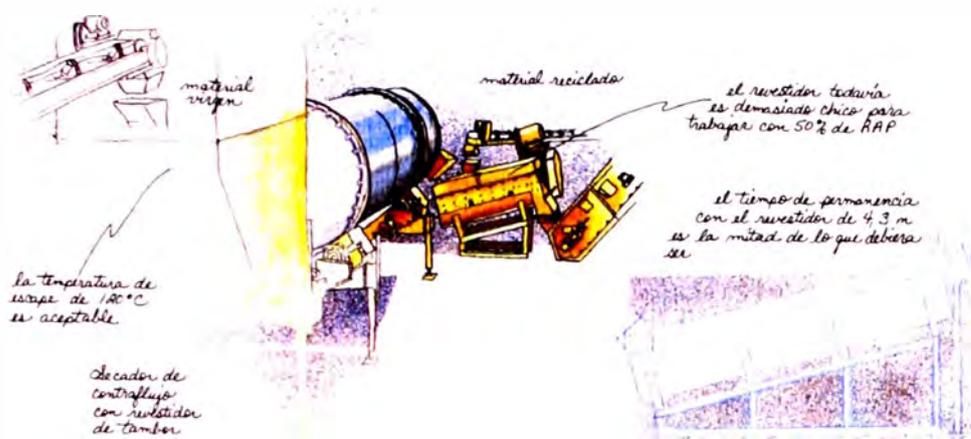


Figura 4.52 Secador de contraflujo con revestidor de tambor

Todo el asfalto líquido y el RAP se introducían directamente en el revestidor junto con el agregado virgen. Esta solución redujo las temperaturas de escape a 120°C - o a un nivel tan bajo como el de un secador de contraflujo - lo cual permitía a la cámara de filtros tratar el material de modo económico. Los revestidores de esta época sólo podían manipular entre un 15% y un 20% de RAP. Al forzar más RAP en el revestidor, el material no permanecía en éste por el tiempo suficiente para transferir el calor del material virgen al material reciclado. En consecuencia se necesitaba un revestidor de mayor tamaño.

Entonces, se fabricaron revestidores de hasta 4,3 mts de largo y 1,3 mts de diámetro. Aun usando estos revestidores más grandes, no era posible utilizar los porcentajes deseados de RAP debido a que el material no permanecía en el revestidor por tiempo suficiente para transferir el calor del material virgen al RAP. Se necesita un revestidor de tamaño aun más grande.

Para lograr el tiempo de permanencia deseado, era necesario que el revestidor fuera de aproximadamente 6 mts de largo. Esto no era práctico debido al eje extremadamente largo que se requeriría para ello. Se propuso la idea de aumentar el diámetro hasta 3 mts con vástagos largos. Esto llevó a los ingenieros a percatarse que ya tenían un eje para el revestidor en el lugar correcto.

Todo lo que se necesitaba era colocar el casco del revestidor alrededor del secador y añadir unas paletas al secador. Esta idea llevó al nacimiento de la planta de mezcla continua más avanzada en el mercado de la industria del asfalto mostrada en la Figura 4.53, esta planta consiste en:

- Un secador de contraflujo altamente eficiente.
- Un revestidor con tiempo de mezcla óptimo.

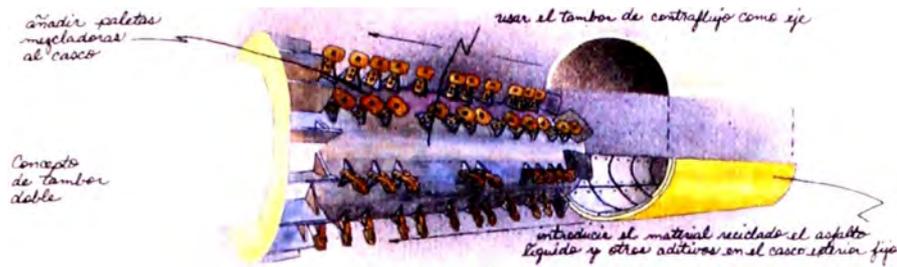


Figura 4.53 *Concepción básica del tambor mezclador Double Barrel*

Con la invención del mezclador Double Barrel, ahora es posible secar el agregado virgen en el secador a temperaturas de 260°C a 316°C sin la adición de asfalto líquido. En la sección del revestidor, el material reciclado se coloca encima del material caliente, elevando así su temperatura. Luego, cierta distancia más adelante en el tambor, se añade el asfalto líquido. El asfalto líquido y el material reciclado se colocan en una atmósfera prácticamente inerte, lo que significa que hay menos oxígeno y menos humedad en los gases que provoquen el desalojo de las fracciones ligeras. En caso que algunas fracciones ligeras fueren desalojadas, éstas son aspiradas nuevamente al interior del tambor mostrado en la Foto 4.54 por la llama y se incineran en el extremo del quemador antes de ingresar al tambor.



Foto 4.54 *Interior del tambor mezclador Double Barrel de ASTEC*

Con esta planta de secador/revestidor avanzada mostrado en la Figura 4.55, es posible añadir hasta 50% de RAP a la mezcla y mantener una opacidad de 0%. El economizador de gas de escape permite el uso de 100% de material virgen y hasta 50% de material reciclado mientras se mantienen las temperaturas de escape lo suficientemente bajas para un secado eficiente del agregado. Las temperaturas de la mezcla pueden subir hasta 180°C. Hasta ahora, era imposible para un sistema de secador mezclador con cámara de filtros el alcanzar temperaturas de mezcla semejantes.

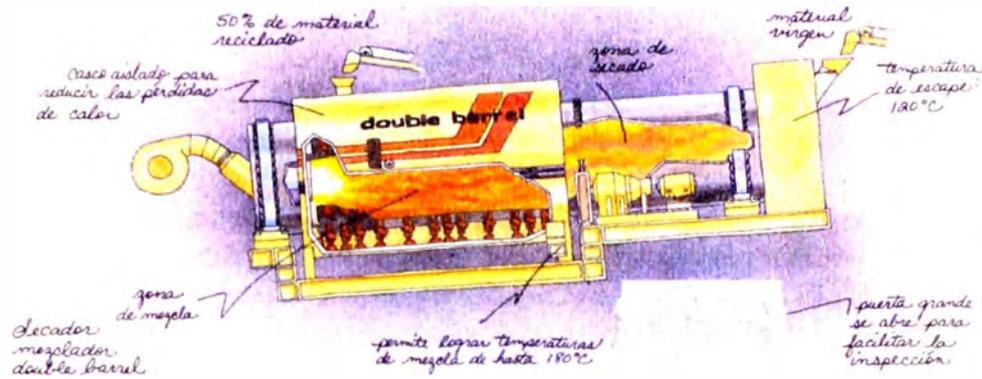


Figura 4.55 Vista esquemática longitudinal del tambor mezclador *Double Barrel* de ASTEC

Esta avanzada planta de asfalto mostrada en la Foto 4.56 de tambor mezclador Double Barrel de ASTEC, es actualmente una realidad de rendimiento comprobado días tras día de trabajo y producción continua de mezcla asfáltica; asimismo según los resultados obtenidos en el Item 2.1.8 del Capítulo II y el Paper T-127 de Astec el cual está referido al Aseguramiento de la Calidad, la Empresa Astec Industries se encuentra en el nivel 5.5 - 5.9 del Seis Sigma.

Los contratistas producen mayores volúmenes de mezcla de mejor calidad por menos dinero y lo hacen sin contaminación aún utilizando 50% de RAP. A la fecha se han vendido más de 700 unidades, éstas son la razones fundamentales por la cuales se ha decido como la mejor elección a la planta de asfalto con tambor mezclador Double Barrel de ASTEC.

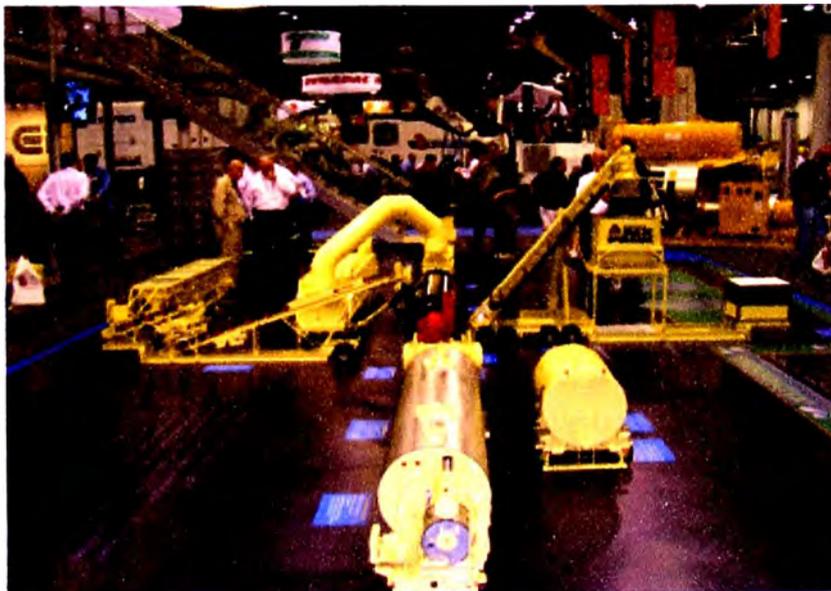


Foto 4.56 Réplica de la planta de asfalto *Six Pack Double Barrel* de ASTEC

4.5 Capacidades de planta, tiempo y velocidad de los procesos de la mejor alternativa tecnológica

La capacidad de planta tiene que ver con la capacidad de producción de mezcla asfáltica en caliente, como tal debe responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo definir el tamaño de la planta de asfalto para nuestro proyecto?
2. ¿Cuales son los elementos a considerar para la elección del tamaño de planta?
3. ¿El tamaño a considerarse va a ser rígido o habrá cambios en el futuro?
4. ¿Cuales son los criterios básicos a considerar para decidir un tamaño óptimo?
5. ¿El tamaño de la planta es compatible con el mercado creciente, capacidad utilizada, proceso productivo, disponibilidad de insumos, costos mínimos y obras físicas?

El objetivo fundamental es encontrar un programa de capacidades de planta de asfalto a instalarse, capacidades de satisfacer técnicamente los requerimientos de la demanda dirigida y al mismo tiempo que la producción se logre haciendo un uso óptimo de los activos fijos, lo cual permitirá contribuir a maximizar las utilidades, en la medida que se minimice los costos fijos unitarios en todo el horizonte de planeamiento del proyecto.

Casi la totalidad de los proyectos presentan una característica de desproporcionalidad entre el tamaño, costos e inversión. Esta deficiencia ocurre cuando al duplicarse el tamaño, los costos e inversiones también se dupliquen. Esto ocurre en las economías o deseconomías de escala que presentan los proyectos.

Para superar la desproporcionalidad entre el tamaño e inversiones es necesario relacionar las inversiones inherentes a un tamaño dado con las que corresponderían a un tamaño mayor, esta relación se define con la siguiente ecuación:

$$I_t = I_0 \left[\frac{T_t}{T_0} \right]^\alpha$$

Donde:

- I_t = Inversión necesaria para un tamaño T_t de planta.
- I_0 = Inversión necesaria para un tamaño T_0 de planta.
- T_0 = Tamaño de planta utilizado como base de referencia.
- T_t = Tamaño de nueva planta.
- α = Exponente de factor de escala para asfalto se puede utilizar 0.65-0.68.

El estudio consiste en la adopción del tamaño óptimo con relación a los factores que condicionan su funcionalidad y la selección de las técnicas para racionalizar el uso de recursos, siendo los aspectos siguientes los más importantes a considerar para realizar el correspondiente estudio:

a.- Capacidad instalada de planta: Consiste en la elección de la capacidad instalada sobre la base de criterios técnicos, económicos y financieros como:

- Tamaño – Mercado.
- Tamaño – Tecnología.
- Tamaño – Localización.
- Tamaño – Financiamiento.
- Tamaño – Capacidad Instalada.
- Tamaño – Costo de Producción.

b.- Áreas físicas de planta: Consiste en la determinación de la amplitud del terreno, instalaciones, áreas para almacenamiento de agregados, zonas de circulación, áreas libres, vías para el tránsito de camiones.

c.- Velocidad de los procesos, producción, rendimientos y eficiencia: Consiste en determinar la eficiencia de la Planta de Asfalto ASTEC equipada con el tambor mezclador Double Barrel de la Foto 4.57, el cual rinde visiblemente más que los mezcladores convencionales, sin importar el tipo de mezcla. Produce más toneladas por hora de mezcla asfáltica en caliente con menores cantidades de combustible¹. Consecuentemente, ofrece un menor costo por tonelada de mezcla. Cuando funciona con mezcla virgen, el mezclador Double Barrel produce 15% más toneladas por hora que un secador mezclador de flujo paralelo funcionando con igual flujo de aire. Al mismo tiempo, consume 5% menos de combustible. También produce 9% más toneladas por hora que un secador mezclador de contraflujo convencional y consume 3% menos combustible.



Foto 4.57 La planta de asfalto ASTEC tiene la mejor tecnología para la producción de mezclas asfálticas en caliente

Con el uso de RAP, las ventajas del mezclador Double Barrel se hacen más significativas y aumentan proporcionalmente con el porcentaje de RAP utilizado. Si se usa 50% de RAP, el mezclador Double Barrel produce 24% más toneladas por hora que un secador mezclador de flujo paralelo y 14% más que un mezclador de contraflujo. Además consume 19% menos combustible que un mezclador de flujo paralelo y 12% menos que un mezclador de contraflujo.

¹ Technical Papers 119 S y 126 S de ASTEC escritos por el Ph.D., P.E J. Don Brock
TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

La Figura 4.58 muestra el perfil de temperatura del secador mezclador tipo Double Barrel. Los agregados vírgenes se secan en el tambor interno. Son supercalentados de 316°C a 343°C cuando se procesa 50% de material reciclado. Después del secado, los agregados vírgenes caen por la pared del tambor interno hacia el tambor externo. Allí se juntan con el material reciclado y los dos se mezclan. El agregado virgen supercaliente funde el asfalto viejo en el material reciclado para que se mezcle con el agregado virgen antes de que se inyecte el asfalto líquido fresco a la mezcla. El tiempo de mezclado en esta carcasa externa es 3/4 a 1 minuto. El tiempo de mezcla es más largo que lo común, lo suficiente largo para producir una mezcla muy homogénea de óptima calidad.

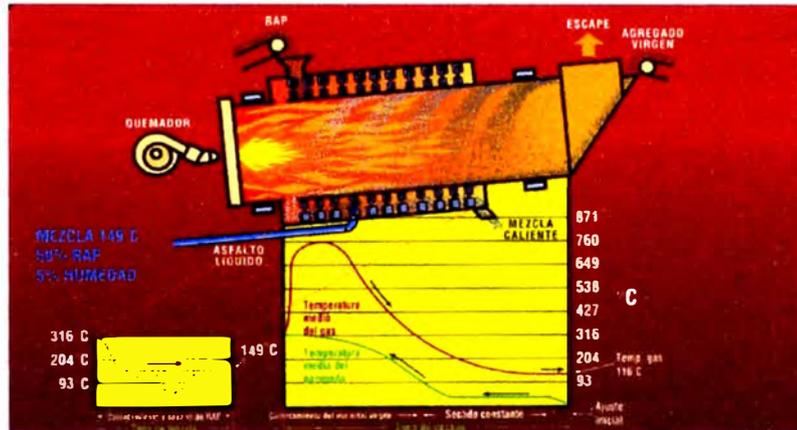


Figura 4.58 Perfil de temperatura del secador mezclador tipo Double Barrel de ASTEC

La carcasa externa del tambor no gira. Gracias a ello facilita el acceso para la adición de una variedad de otros materiales reciclados a la mezcla cuando se necesiten o estén disponibles. Con este diseño, el 90% del calor para la fusión y el secado del material reciclado proviene del agregado virgen. El otro 10% proviene del calor conducido a través de la carcasa interna y las paletas mezcladoras en la sección de mezcla. El calor conducido a través de la carcasa interna a la mezcla impide que la carcasa se sobrecaliente. La carcasa externa del Double Barrel se mantiene a unos 49°C permanentemente. Todos estos factores originan un mezclador altamente eficiente.

Cualquier humo u olor proveniente de la sección de mezcla es devuelto a través de los agujeros en el tambor interno. Estos son los mismos agujeros que dejan pasar el agregado virgen a la carcasa externa. Los contaminantes se van directamente a la llama del quemador donde son consumidos. Como resultado no se producen olores y la chimenea tiene cero de opacidad. Más aun el asfalto virgen y los materiales reciclados no quedan expuestos a los gases y vapor calientes producidos por el secado del agregado virgen en la carcasa interna. Por lo tanto, estos gases y el vapor no llegan a destilar los aceites ligeros de estos materiales.

Cuando el material reciclado se calienta en el tambor externo o cámara de mezcla del secador mezclador tipo Double Barrel, su humedad es expulsada como vapor. Esto produce una atmósfera de vapor inerte en la cámara de mezcla, prácticamente sin oxígeno libre. De esta manera casi no hay oxidación de la mezcla mientras se encuentra en la cámara de mezcla.

El tiempo de mezcla excepcionalmente largo en la cámara externa deja tiempo suficiente para que el reciclado se funda antes de la inyección del asfalto líquido nuevo. Todas estas condiciones favorables producen una mezcla muy homogénea.

La Tabla 4.12 muestra proporciones de producción de los mezcladores de tambor de flujo paralelo con diámetros de 1.8 m a 3 m, una temperatura de mezcla de 149°C y una temperatura en la chimenea de 154°C.

DIAMETRO DEL TAMBOR	GASES DE PROCESO A TRAVES TAMBOR (m ³ /min)	Porcentaje de humedad eliminado y litros de combustible por tonelada										ESCAPE TOTAL A TRAVES SISTEMA (m ³ /min)
		3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	
1.8 m	793	230	191	162	139	124	112	101	91	83	75	952
2.1 m	1090	307	259	220	193	170	151	136	124	115	104	1308
2.4 m	1090	402	345	288	249	220	196	177	162	149	136	1699
2.7 m	1798	512	425	362	316	280	249	225	205	188	172	2158
3.0 m	2223	631	521	450	392	345	308	278	254	231	212	2668

• 50% EXCESO DE AIRE DE COMBUSTION EN EL TAMBOR
 • 10% FUGA A TRAVES DE LOS SELLOS Y CANALETAS DE ENTRADA Y DESCARGA DE RAP
 • PESO DEL MATERIAL 1762 kg/m³
 • 4% HUMEDAD
 • 5.5% ASFALTO LIQUIDO
 • Mezcla 149 C con chimenea a 154 C

Tabla 4.12 Proporciones de producción en tph de los tambores mezcladores de flujo paralelo

La Tabla 4.13 muestra proporciones de producción de los tambores de contraflujo sin aire secundario precalentado sin carcasa enfriada por aire.

DIAMETRO DEL TAMBOR	GASES DE PROCESO A TRAVES TAMBOR (m ³ /min)	Porcentaje de humedad eliminado y litros de combustible por tonelada										ESCAPE TOTAL A TRAVES SISTEMA (m ³ /min)
		3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	
1.8 m	28,000	236	200	170	147	130	117	104	95	88	81	952
2.1 m	38,500	322	272	231	202	180	160	144	132	120	112	1308
2.4 m	50,000	424	354	303	261	233	209	188	171	156	143	1699
2.7 m	63,500	535	447	384	335	294	264	240	216	199	181	2158
3.0 m	78,500	662	553	474	413	366	327	295	268	245	212	2668

• 50% EXCESO DE AIRE DE COMBUSTION EN EL TAMBOR
 • 20% FUGA A TRAVES DE LOS SELLOS Y CANALETAS DE ENTRADA Y DESCARGA Y AIRE FUGAZ DE LA TORRE
 • PESO DEL MATERIAL 1762 kg/m³
 • Mezcla 149 C con chimenea a 116 C

Tabla 4.13 Proporciones de producción en tph de los tambores mezcladores de contraflujo

La Tabla 4.14 muestra las proporciones de producción del secador mezclador tipo Double Barrel de contraflujo. Enfía la carcasa mientras precalienta el aire de combustión secundario.

DIAMETRO DEL TAMBOR	GASES DE PROCESO A TRAVES TAMBOR (m ³ /min)	Porcentaje de humedad eliminado y litros de combustible por tonelada										ESCAPE TOTAL A TRAVES SISTEMA (m ³ /min)
		3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	
1.8 m	28,000	260	217	186	161	142	127	115	104	95	88	872
2.1 m	38,500	357	298	255	222	196	175	158	143	132	121	1199
2.4 m	50,000	464	387	331	288	254	228	205	186	171	157	1558
2.7 m	63,500	591	492	420	366	323	288	260	237	217	199	1978
3.0 m	78,500	729	608	520	453	399	357	322	292	268	246	2445

• 50% EXCESO DE AIRE DE COMBUSTION EN EL TAMBOR
 • 10% FUGA A TRAVES OF LOS SELLOS Y CANALLETAS DE ENTRADA Y DESCARGA DE RAP
 • PESO DEL MATERIAL 1762 kg/t
 • 1% HUMEDAD
 • 5.5% ASFALTO LIQUIDO
 • Mezcla 149 C con chimenea a 116 C

Tabla 4.14 *Proporciones de producción en tph de los tambores mezcladores de tipo Double Barrel de contraflujo*

La planta de asfalto con tambor mezclador Double Barrel de la Foto 4.59, tiene otra ventaja, ésta es prolongación de la duración de los filtros en el baghouse o cámara de filtros, debido a que no llega aceite del secador mezclador tipo Double Barrel a la cámara de filtros, en consecuencia estos filtros duran entre 635,040 y 907,200 toneladas de mezcla.



Foto 4.59 *Planta de asfalto con tambor Double Barrel operando en Nashville Alabama E.U.A*

Los mezcladores de tambor convencionales extraen los aceites ligeros del asfalto líquido. Los aceites revisten los filtros de bolsa, acortando su vida útil como lo muestra la Figura 4.60. Pueden durar solamente para unas 18,144 a 36,288 toneladas de mezcla cuando se usan materiales reciclados.

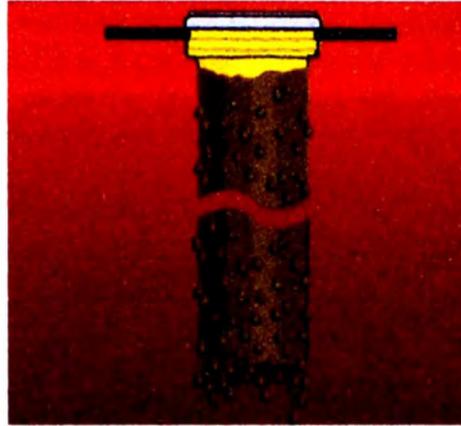


Figura 4.60 Filtro de bolsa empapado en aceite

El secador mezclador tipo Double Barrel tiene otra ventaja sobre los mezcladores de tambor convencionales. En el Double Barrel, los finos son devueltos al mezclador desde la cámara de filtros por medio de un transportador sinfín y esclusa de aire giratoria. La caída de presión que ocurre entre la cámara de filtros y el secador mezclador tipo Double Barrel es muy baja. Como resultado, la esclusa de aire dura hasta diez veces más tiempo que el sistema de soplador y la esclusa de aire usados comúnmente en un mezclador de tambor convencional de la Figura 4.61.

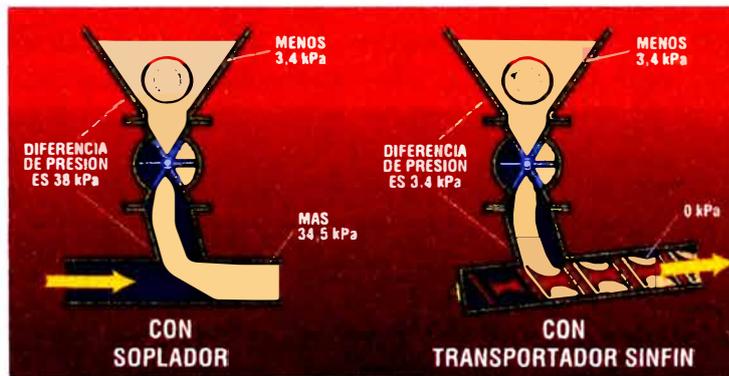


Figura 4.61 Esclusa de aire giratoria

El diseño de secador de contraflujo proporciona temperaturas más bajas en la chimenea. Esto permite lograr proporciones de producción más altas tal como se muestra en la Figura 4.62.

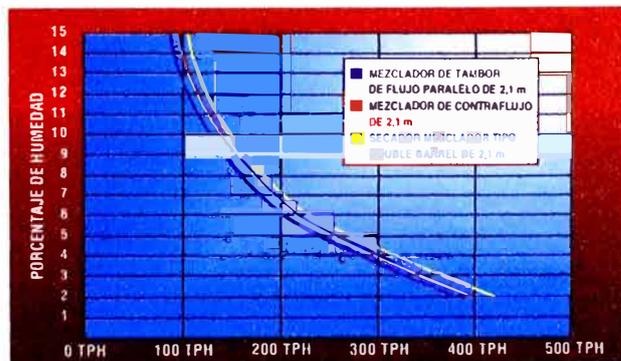


Figura 4.62 Proporciones de producción en tph de los mezcladores de tambor

Con el diseño de tambor secador mezclador de contraflujo, la eficacia térmica es considerablemente más alta. El agregado está caliente y seco al momento de llegar a la llama. Por consiguiente, evapora todas las gotas de combustible sin quemar, incrementando así la eficacia de la combustión.

En un mezclador de flujo paralelo, el agregado húmedo y frío se dispersa sobre la llama y tiende a apagarla. Esto permite que queden gotas de combustible sin quemar lo que reduce la eficacia térmica. Ver la Figura 4.63.



Figura 4.63 Eficacia térmica del tambor mezclador secador

La Figura 4.64 muestra el consumo de combustible típico de tres tipos de mezcladores de tambor. Obsérvese que el secador mezclador tipo Double Barrel consume casi 1 litro menos de combustible por tonelada con el 5% de humedad.

En forma correspondiente, quema aproximadamente 136,274 litros menos de combustible en una planta que procesa 181,440 toneladas por año con una humedad media del 5%. Con una humedad media del 10%, el tambor mezclador Double Barrel ahorra un poco más de 1 litro por tonelada, lo que significa un ahorro de 246.051 litros en un año. Cuando se usan materiales reciclados, los ahorros con el secador mezclador tipo Double Barrel son aun mayores.

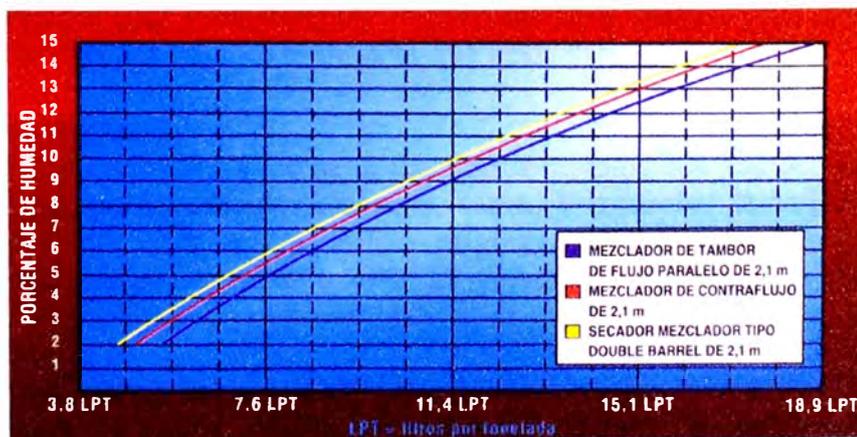


Figura 4.64 Ahorros de combustible en litros por tonelada de los mezcladores de tambor

4.6 Facilidad de transporte, operación, montaje y mantenimiento de la mejor alternativa tecnológica

4.6.1 Alternativas de plantas asfalto Six Pack de ASTEC

La planta Six Pack de ASTEC de las Fotos 4.65 y Foto 4.66, fue la primera planta verdaderamente portátil disponible para los productores de mezcla de asfalto caliente y rápidamente se ha convertido en la planta de asfalto portátil más vendida en el mundo.



Foto 4.65 Planta Six Pack con Double Barrel de ASTEC en Chattanooga Tennessee E.U.A



Foto 4.66 Planta de asfalto portátil Turbo Six Pack de ASTEC

Actualmente ASTEC INDUSTRIES ofrece la siguiente generación de la Turbo Six Pack, la nueva Turbo es aún más rápida que su predecesora. Se erige de modo completamente automático. Es compacta y fácil de maniobrar. Se ofrece en tres tamaños 200, 300 ó 400 tph. Las alternativas de plantas de asfalto con tambor mezclador Double Barrel que tiene ASTEC son:

- **Turbo 400 Six Pack**

Las máquinas Turbo Six Pack incluyen el mezclador de tambor Double Barrel, alimentación en frío, zaranda con transportador inclinado, cámara de filtros, ciclón, tolva de compensación, transportador de arrastre y sala de control. También proporcionan tolvas para RAP, tanques de combustible y tanques para cemento asfáltico (CA). La Turbo 400 Six Pack es el modelo que rinde 400 tph.

- **Turbo 300 Six Pack**

Los tres modelos Turbo Six Pack se despachan completos con sus conductos, tornillos contra polvo, equipo conmutador eléctrico, cables y controles de la planta. La Turbo 300 Six Pack rinde 300 tph y utiliza un mezclador Double Barrel del tamaño inmediatamente inferior al modelo 400. El tamaño de las cámaras de filtro de las máquinas Turbo se elige según las capacidades de producción de la planta.

- **Turbo 200 Six Pack**

Una carga maneja los excesos transitorios, el transportador de arrastre de la tolva y la sala de control en todas las Turbo Six Pack de ASTEC. La más compacta de las alternativas, la Turbo 200 Six Pack puede producir 200 tph y cuenta con todas las características de los modelos más grandes. La cámara de filtros de la Turbo 200 Six Pack también incorpora al ciclón.

4.6.2 *Facilidad de transporte, montaje y operación de la Turbo Six Pack de ASTEC*

La Turbo Six Pack requiere un mínimo de preparativos para el traslado, ofrece menos problemas para remolcarla en carreteras y puede emplazarse rápidamente en su nuevo sitio reduciendo al mínimo las molestias del traslado Figura 4.67.



Figura 4.67 *Facilidad en el transporte de la planta Six Pack de ASTEC*

Las cargas largas, tales como la cámara de filtros y la SEB (tolva de compensación autoerigible) vienen equipadas con ejes especiales de elevación alta. Las cuatro bolsas de aire de cada eje de elevación alta tienen carreras de 460 mm (18 pulg) para permitir el transporte sin problemas de cargas largas.

Respecto a los costos de transporte y movilización, La planta de asfalto puede ser instalada en menos de tres días al cambiarlo de un sitio de trabajo a otro. La Turbo Six Pack combina una mayor cantidad de tiempo productivo con un bajo costo de traslado para darle la oportunidad de aumentar las ganancias de las plantas de asfalto. Podemos comparar un costo de US\$ 5,000 para trasladar la Turbo Six Pack respecto a los US\$ 90,000 que cuesta trasladar una planta con tambor mezclador convencional, erigida con grúa, o los US\$ 150,000 que podría costar el traslado de una planta dosificadora o batch plant.

Cada carga tiene suspensiones con bolsas de aire mostradas en la Figura 4.68, de esta forma permiten maniobrar con suavidad sobre superficies desiguales y protegen a los componentes contra los daños causados por una carretera en malas condiciones, además se elimina los problemas con los camiones que tienen diferentes alturas de chasis.



Figura 4.68 *Facilidad las suspensiones con bolsas de aire elevan las cargas y brindan una suspensión uniforme cuando se transporta la planta.*

El sistema se ajusta automáticamente para brindar la suspensión más suave y permite ajustar la altura del equipo para pasar bajo puentes y para regular la altura libre sobre el suelo. Las bolsas de aire también aceleran el emplazamiento porque se usan para nivelar las cargas antes de bajar los cimientos. Al analizar estas facilidades podemos afirmar que ASTEC ofrece el mejor sistema de transportabilidad con calidad.

Cada carga de la Turbo Six Pack incluye el pasador de pivote central para la quinta rueda del tractor, uniones de desconexión rápida para sistemas neumáticos, deflectores de lodo, señalizadores de viraje, y luces de freno.

4.6.3 Cimentación y nivelación de los equipos

Los cimientos de los equipos de la planta son fabricados y se pueden bajar rápidamente para soportar el equipo sobre suelo compactado como lo muestra la Foto 4.69. Estas placas de cemento retráctiles e incorporadas reducen significativamente el trabajo necesario para emplazar o sustentar a la Planta de Asfalto Turbo Six Pack.

Aun los mejores cimientos en los equipos de otros fabricantes son difíciles de ajustar y nivelar, frecuentemente requieren la adición de piezas de madera o metálicas para aumentar la superficie que soporta la carga. Con la Turbo Six Pack no se presentan estos tipos de problemas. El procedimiento para instalar la cimentación es el siguiente:

- Estacionar la máquina y utilizar la suspensión para nivelarla inicialmente.
- Bajar los bastidores de acero o las planchas de cimentación incorporados y los correspondientes tabiques.
- Las cargas de los cimientos tienen un valor promedio de apenas 1.22 kg/cm^2 (2.500 lb/pie^2).
- No es necesario colocar suplementos, tablas ni planchas de hormigón.



Foto 4.69 Cimentación de los equipos sobre suelo firme y compactado

Una vez que se colocan en posición, las máquinas se nivelan provisionalmente usando la suspensión neumática mostrada en la Foto 4.70. Los equipos de soporte se bajan mediante una manivela para soportar las cargas después de haberse desenganchado del camión remolcador y antes de haberse bajado las placas de cimentación.



Foto 4.70 Los equipos son fáciles de elevar, nivelar y estabilizar

La elevación y nivelación finales se hacen con los gatos hidráulicos incorporados y los tornillos elevadores mostrados en la Figura 4.71. Los conductos y tuberías de ASTEC hasta permiten pequeñas variaciones de alineación. No es necesario tratar con suplementos y no se necesitan cimientos de hormigón para sostener parte alguna de la Turbo Six Pack.

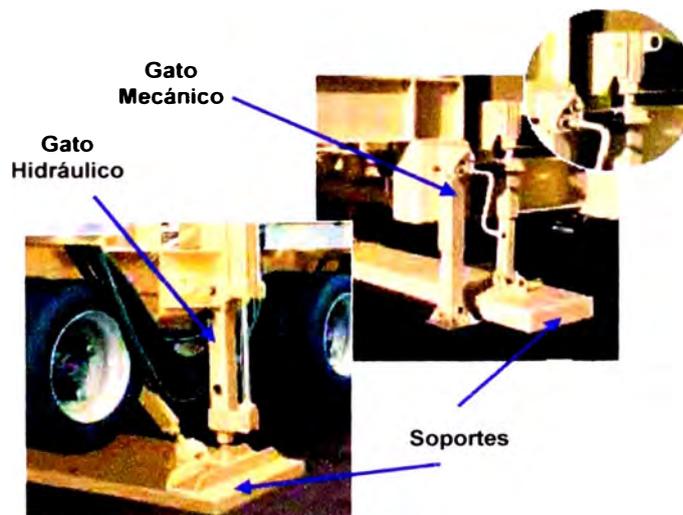


Figura 4.71 Los soportes y gatos permiten elevar las cargas casi sin esfuerzo y los tornillos elevadores a nivel de la cintura nivelan las máquinas

4.6.4 Tabiques de acero incorporados en las tolvas

La planta Turbo Six Pack cuenta con tabiques de acero incorporados en las tolvas de alimentación en frío y en las tolvas del RAP como se muestra en la Foto 4.72. Se extienden hasta el suelo, por tanto se ahorra la construcción de paredes de concreto retenedoras o separadas por las rampas de carga.



Foto 4.72 Tabiques de acero incorporados en las tolvas

Los tabiques también protegen a las máquinas contra los daños causados por los cargadores frontales y ayudan a mantener la tierra alejada de las fajas y mecanismos de mando y de las ruedas y los frenos como lo muestra la Figura 4.73.



Figura 4.73 Los tabiques protegen a las tolvas de los impactos de los cargadores frontales

Para trasladar la máquina, las paredes articuladas se pliegan rápidamente y se fijan con pasador. No es necesario emplazar las paredes tipo “barrera” utilizadas por otras plantas, las cuales son difíciles de manipular. También dispone la planta de tabiques adicionales como lo muestra la Foto 4.74, los cuales están ubicados debajo de la faja transportadora de la mezcla en caliente, permitiendo el recojo y limpieza de la zona con cargadores frontales.

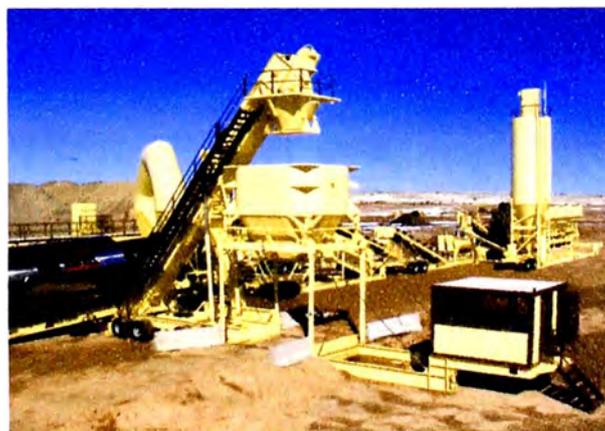


Foto 4.74 Tabiques ubicados debajo de la faja transportadora de mezcla asfáltica en caliente

TESIS “PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN”

4.6.5 La unidad de alimentación de agregados en frío

La unidad de alimentación de agregados vírgenes o en frío es remolcado como lo muestra la Figura 4.75, luego se coloca en la posición del lugar de trabajo y se bajan los dispositivos de los cimientos.

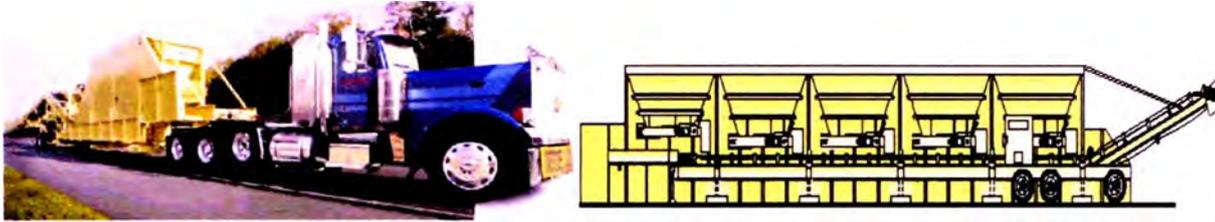


Figura 4.75 Las tolvas de agregados vírgenes son remolcadas por camión

También incluye el equipo todos los alimentadores de bandas o fajas y el transportador colector el cual está debidamente montado sobre estructuras metálicas es desplazado por dispositivos neumáticos según lo muestra la Foto 4.76.



Foto 4.76 Fajas de agregados en frío

El extremo orientado hacia arriba del transportador colector se descarga sobre el transportador inclinado de la Foto 4.77.

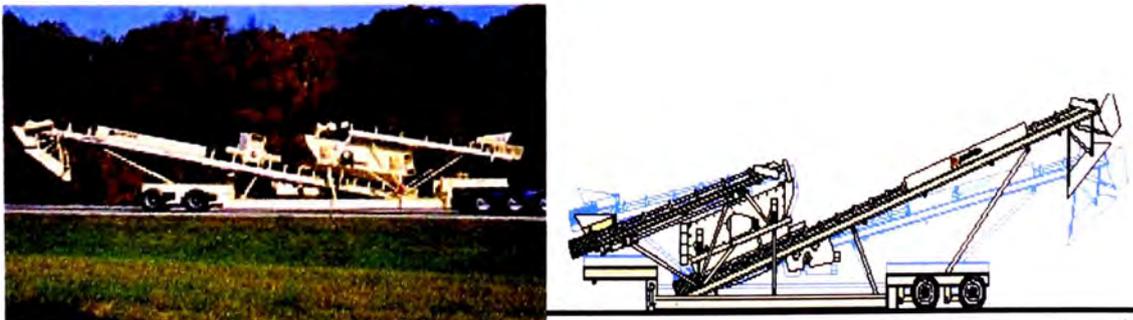


Foto 4.77 Transportador inclinado de fajas transportadoras de agregados en frío

Los tabiques articulados e incorporados se bajan a su posición de funcionamiento en cuestión de minutos como lo muestra la Foto 4.78. Los separadores de tolva preinstalados opcionales y las cribas se pliegan para el transporte. La unidad de alimentación en frío portátil puede tener hasta cinco tolvas.



Foto 4.78 Tolvas de agregados en frío con tabiques articulados incorporados

Las principales ventajas de este sistema son:

- No requiere el uso de grúas para el emplazamiento y montaje.
- El sistema hidráulico permite elevar las cargas a su posición de funcionamiento.
- Algunas cargas se envían de acuerdo a su altura de funcionamiento. Sencillamente se bajan los cimientos.

La unidad de alimentación en frío conformada por las tolvas de agregados, bastidores y soportes, es portátil puede ser ubicada y se trasladada fácilmente como lo muestra la Foto 4.79.



Foto 4.79 Facilidad para el transporte y montaje de la unidad en frío

Esta unidad, se completa con una faja transportadora de agregados vírgenes, zaranda de rechazo, zaranda preliminar y puente báscula, todo está montado en un chasis de carga mostrada en la Foto 4.80.

Todos los componentes se erigen hidráulicamente mediante los dispositivos hidráulicos que se encuentran ubicados en el chasis y en los componentes; asimismo la zaranda está apoyada por su propia platea de cimentación la cual debe ser apoyada sobre suelo firme y compactado.



Foto 4.80 Conjunto de faja de agregados vírgenes, zaranda de rechazo, zaranda preliminar y puente báscula montado sobre chasis

4.6.6 Las tolvas de RAP

Todo lo que se requiere para dosificar el material reciclado e introducirlo a la mezcla asfáltica en la mezcla se encuentra en el sistema del RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) portátil de ASTEC mostrado en la Foto 4.81.



Figura 4.81 Sistema de fajas y tamices para el RAP

El conjunto incluye una o dos tolvas, alimentadores de bandas, el transportador colector con puente de pesaje, la zaranda y el transportador inclinado mostrados en la Foto 4.82.



Figura 4.82 Tolvas para RAP montadas sobre chasis

Al igual que la unidad de alimentación en frío, el sistema RAP viene equipado con placas para cimientos articuladas y tabiques plegables. Las placas para cimientos de la máquina se bajan a su posición y el transportador y la criba se elevan hidráulicamente como lo muestra la Foto 4.83.



Foto 4.83 Platea de cimentación y tabiques de las tolvas para RAP

4.6.7 El tambor mezclador Turbo Double Barrel

El tambor mezclador Turbo Double Barrel puede ser preparado y habilitado en pocas horas para posteriormente ser transportado. El mezclador incluye el mezclador tambor Turbo Double Barrel de la Foto 4.84, el cual contiene la plataforma del quemador, las cajas de humo de entrada y los conductos de transición al ciclón.

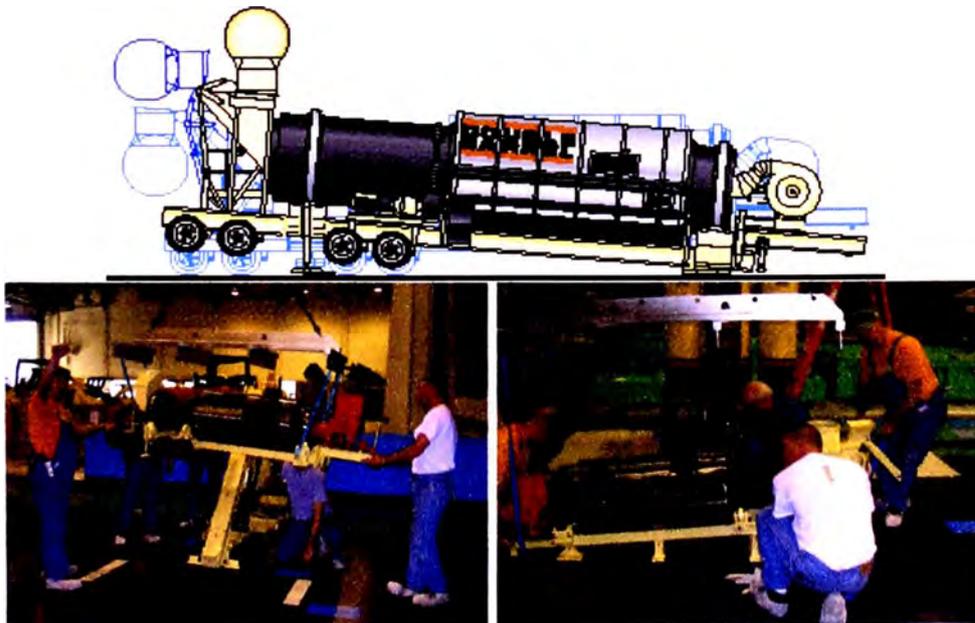


Foto 4.84 Réplica de la facilidad en el montaje del tambor mezclador Double Barrel de la planta de Asfalto ASTEC

El montaje del tambor mezclador Double Barrel en su nueva posición es rápido y simple debido a que las placas de la cimentación que sostienen la carga están disponibles e incorporadas en la misma unidad de la planta de asfalto; asimismo para realizar el mantenimiento es fácilmente accesible como lo muestra la Foto 4.85.



Foto 4.85 *Facilidad para el montaje y mantenimiento del Double Barrel*

Con el uso de los gatos y tornillos de ajuste, se puede subir y bajar la unidad casi sin realizar esfuerzo importante, finalmente se puede precisar el nivel e inclinación del tambor como lo muestra la Foto 4.86.



Foto 4.86 *Soportes y tornillos de ajuste para nivelación del Double Barrel*

La Tabla 4.15 presenta los modelos del tambor mezclador Double Barrel de Astec con sus respectivas capacidades de planta y la producción de la mezcla en caliente.

FOR PORTABLE SIX PACK MODEL / STANDARD TPH RATING	FOR RELOCATABLE M-PACK MODEL / STANDARD TPH RATING	FOR STATIONARY PLANT MODEL / STANDARD TPH RATING
PDB-6633/200	RDB-7234/200	SDB-7234/200
PDB-7837/300	RDB-8438/300	SDB-8438/300
PDB-9037/400	RDB-9640/400	SDB-9640/400
●	RDB-10847/500	SDB-10847/500
●	RDB-12050/600	SDB-12050/600

Tabla 4.15 *Modelos del tambor mezclador Double Barrel y capacidad de planta en tph*

Durante el emplazamiento se ajusta el ángulo de funcionamiento del tambor, después de haber ajustado hidráulicamente la elevación del extremo de entrada de material virgen al tambor como lo presenta la Foto 4.87.

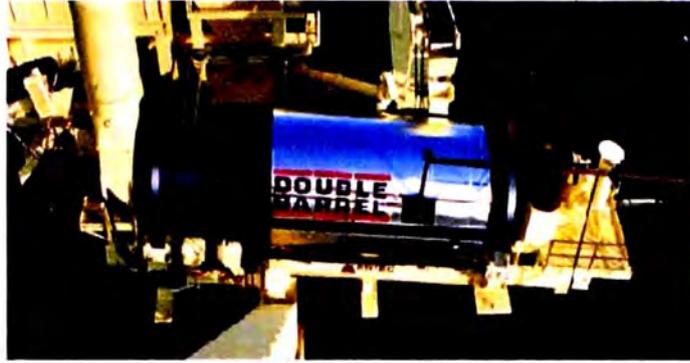


Foto 4.87 El ángulo de funcionamiento del tambor mezclador Turbo Double Barrel es debidamente ajustado

El conducto para la ubicación y posicionamiento del ciclón también se eleva a su nivel por medio de dispositivos hidráulicos. Una junta deslizante facilita la conexión del conducto del ciclón con el conducto de salida del tambor mezclador Double Barrel mostrado en la Foto 4.88.



Foto 4.88 Ángulo de funcionamiento final del tambor mezclador Double Barrel y conexión del conducto de salida de gases al ciclón

Para cuando se esté usando RAP hasta el 50%, el Turbo Double Barrel de la Foto 4.89 produce 14% más de tph de mezcla que cualquier tambor convencional de contraflujo y 15% más cualquier tambor convencional de flujo paralelo, consume 12% menos de combustible para el caso tambor convencional de contraflujo y 14% menos para el caso del tambor convencional de flujo paralelo.



Foto 4.89 Zona de ingreso del RAP al tambor mezclador Turbo Double Barrel

4.6.8 La cámara de filtros o baghouse

La cámara de filtro o baghouse de la Foto 4.90, será desarrollada y estudiada con mayor detalle en el Capítulo VII de la presente Tesis; sin embargo se presentan algunos alcances respecto al perfil o altura bajo de la cámara de filtros que permite pasar debajo de líneas de tendido eléctrico, puentes y pasos elevados sin dificultades.



Foto 4.90 Baghouse de la planta de asfalto ASTEC

En la zona de trabajo, el sistema hidráulico incorporado eleva y nivela a la cámara de filtros o baghouse en su posición final de trabajo como lo muestra Figura 4.91.



Figura 4.91 Filtro de mangas o baghouse y sistema hidráulico de nivelación hidráulica

La unidad viene completa con su ventilador de escape, chimenea, conducto y compresor de aire. La chimenea y el conducto también se elevan por medio de cilindros hidráulicos. Las juntas deslizantes de los conductos permiten compensar las variaciones en la alineación de los componentes. La carga de la cámara de filtros de la Turbo 200 también incluye el ciclón horizontal mostrado en la Foto 4.92.

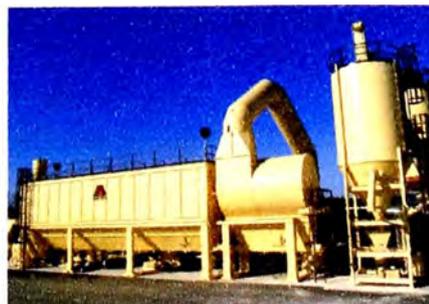
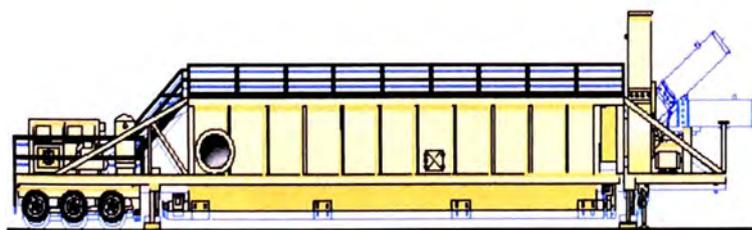


Foto 4.92 Filtro de mangas o baghouse y ciclón

4.6.9 El ciclón

Para el proceder con el montaje del ciclón mostrado en la Foto 4.93, se estaciona el chasis con el equipo en el suelo nivelado y se procede a bajar desinflando las bolsas de aire. Se usan cilindros hidráulicos para elevar los componentes mostrados en la Foto 4.94. Las juntas deslizantes compensan las diferencias pequeñas en la alineación de los componentes. Los tornillos transportadores son instalados cada uno en su respectivo lugar, luego giran en su posición de funcionamiento y se sujetan a los puntos de conexión mostrados en la Foto 4.95.

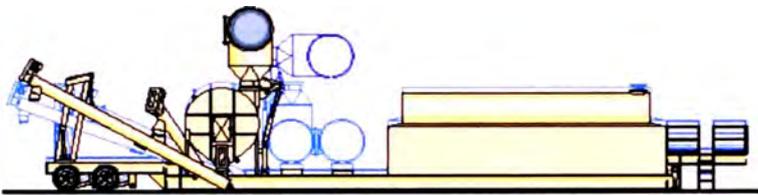


Figura 4.93 *Facilidad para el montaje del ciclón*



Foto 4.94 *Los cilindros hidráulicos ofrecen facilidad para el montaje del ciclón*



Foto 4.95 *Soportes y tornillos de nivelación del chasis del ciclón*

La Tabla 4.16 presenta las partes y componentes que se aplican al equipo en marcha, emplazamiento y auto erección hidráulica.

COMPONENTS	RUNNING GEAR					SETUP				HYDRAULIC SELF-ERECTION												
	Hydraulic (B)	Standard	Motorized	Drum	Brake Light	Grid Bands	Fitch Wheel Pin	Page Foundations	Frame Foundations	Bulkheads	Hydraulic Latching	Pro Wiring	Pre Piping	Belt Conveyor	Screen	Dust Work	Surge Bin	Drag Conveyor	Bladder	Exhaust Stack	Drive Stairs	Beltier Disform
Cold Feed																						
Virgin Screas/Conveyor																						
Double Barrel																						
RAM Bin Screen/Conveyor																						
Baghouse 400																						
Cyclone 400																						
Regulator/Cyclone 300																						
Baghouse/Cyclone 200																						
Self Sealing Bin																						
Uma Site																						

Tabla 4.16 Partes y componentes que aplican equipo en marcha, emplazamiento y auto erección hidráulica

4.6.10 Tolva de compensación autoerigible (SEB)

La Tolva de Compensación SEB (Self-Erecting Surge Bin) mostrada en la Figura 4.96, tiene cuatro equipos principales en una sola carga funcional y contiene los siguientes componentes:

- Transportador de arrastre de mezcla asfáltica en caliente mostrado en la Foto 4.97.
- Dosificador de mezcla mostrado en la Foto 4.98.
- Tolva de mezcla asfáltica mostrada en la Foto 4.99.
- Sala de control Figura mostrada en la Foto 4.100.

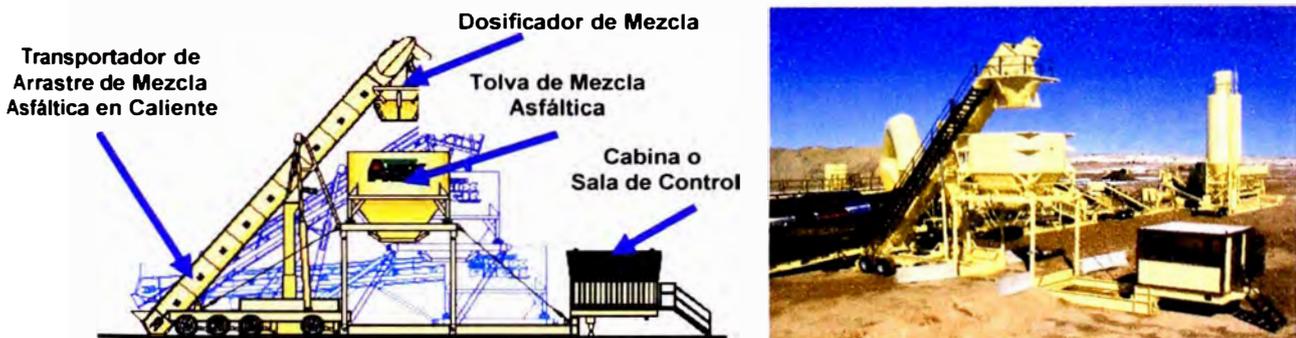


Figura 4.96 Componentes principales de la SEB

Una plataforma para carga en camión formada por una plancha de acero gruesa forma parte del bastidor. (Las tolvas de otras plantas usualmente requieren cimientos costosos de hormigón.) También se obtiene un tubo de descarga de derivación con un tabique incorporado. Dos cilindros hidráulicos grandes elevan la SEB a su posición en menos de 15 minutos.



Foto 4.97 Transportador de arrastre de mezcla asfáltica en caliente



Foto 4.98 Dosificador de mezcla en caliente



Foto 4.99 Tolva de mezcla asfáltica en caliente



Figura 4.100 Cabina o sala de control

La Tabla 4.17 presenta las partes y componentes que vienen equipadas con cimentaciones, tabiques, ductos, y precableado de la planta de asfalto Turbo Six Pack de ASTEC.

	Foundations		Bulbheads	Pre-piped	Pre-wired
	steel skid	steel frame			
Cold Feed		X	X		X
Virgin Screen/Conveyor	X		X	X	X
Double Barrel		X		X	X
RAP System		X	X		X
RAP Conveyor	X			X	X
Baghouse/Cyclone	X			X	X
Silos				X	X
Drag Conveyor					X
Truck Scales					X
Control House	X				X

Standard Turbo M-Packs: 200, 300 or 400 tons per hour. Straight-line or box layouts, right-hand & left-hand versions. Up to 600 tph facilities offered.

Tabla 4.17 Partes y componentes que vienen equipadas con cimentaciones, tabiques, ductos, y precableado

4.6.11 Los sistemas de silos para aditivos

Si se usa cal en las mezclas asfálticas y si necesita un medio de almacenamiento para las partículas finas o filler de la cámara de filtros, los silos de aditivos portátiles de la planta de asfalto Turbo Six Pack de ASTEC mostrado en la Foto 4.101 ofrecen una solución práctica, móvil y eficiente.

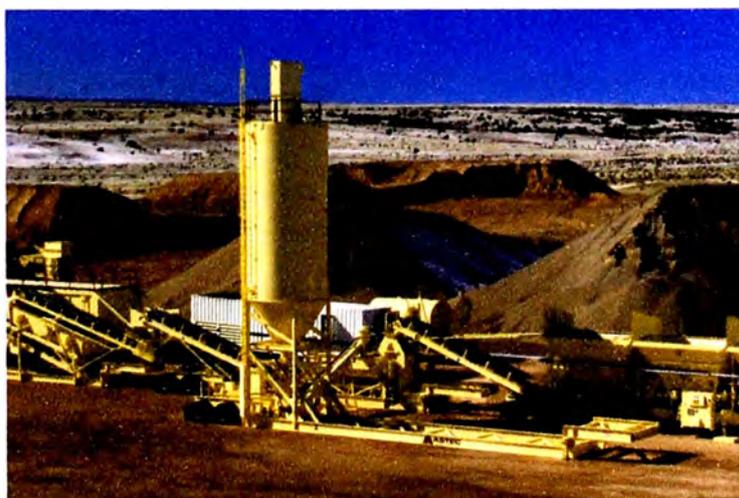


Figura 4.101 Silo para aditivo

Los sistemas se entregan sobre un bastidor que se sostiene por sí solo e incluyen un tornillo transportador y un dispositivo dosificador mostrado en la Foto 4.102.



Figura 4.102 *Dos cilindros hidráulicos grandes empujan al silo de aditivos a su posición vertical*

El silo se erige hidráulicamente y cuatro celdas de carga, una en cada esquina de la tolva, eliminan la necesidad de tener camiones equipados con balanzas como lo muestra la Figura 4.103.

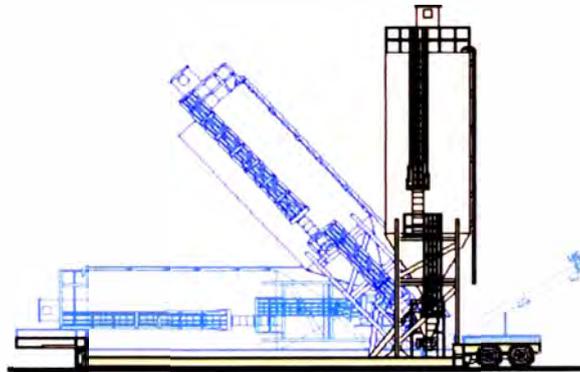


Figura 4.94 *El silo se erige hidráulicamente*

4.7 Facilidad de monitoreo de procesos, conexiones eléctricas y stock de repuestos de la mejor alternativa tecnológica

Los motores de la Planta Turbo Six Pack y los componentes eléctricos vienen con los alambres preinstalados con sus respectivos conductos desde la fábrica como lo muestra la Figura 4.104.



Figura 4.104 *El tablero de alimentación principal se monta en la plataforma de la cámara de filtros y la caja de empalmes de control se instala en el extremo del bastidor de la tolva de compensación*

La distribución general del cableado es sencillo y fácil de realizar como lo presenta la Figura 4.105, debido a que el ventilador de escape de la cámara de filtros, los tornillos y el compresor de aire llegan conectados directamente al tablero de alimentación principal. El alambrado del motor del transportador de arrastre se instala en conductos que lo llevan al tablero de alimentación principal. El alambrado de la unidad de alimentación en frío, el sistema RAP, los calentadores y tanques se instalan del tablero de alimentación principal a tableros ubicados en cada componente.

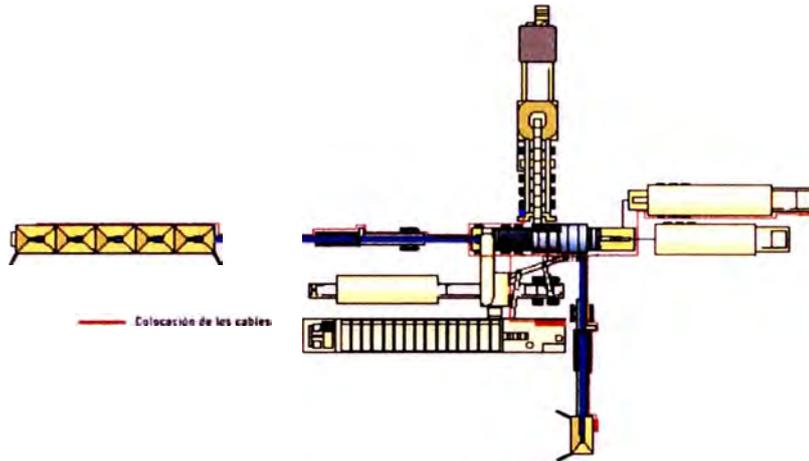


Figura 4.105 *Facilidad para el monitoreo y colocación de los cables en toda la planta*

Los cables sencillamente se enchufan en estos tableros mostrados en la Foto 4.106. Los tableros de alimentación de la Turbo Six Pack están sellados contra polvo y se enfrían por corriente de aire. El alambrado de control de las tolvas de alimentación en frío y el quemador de la Turbo Double Barrel sólo requieren la instalación de un cable corto a la caja de empalmes del bastidor de la tolva de compensación. Estas conexiones también son enchufables. La sala de control tiene sus alambres preinstalados en los conductos que llevan a la caja de empalmes.

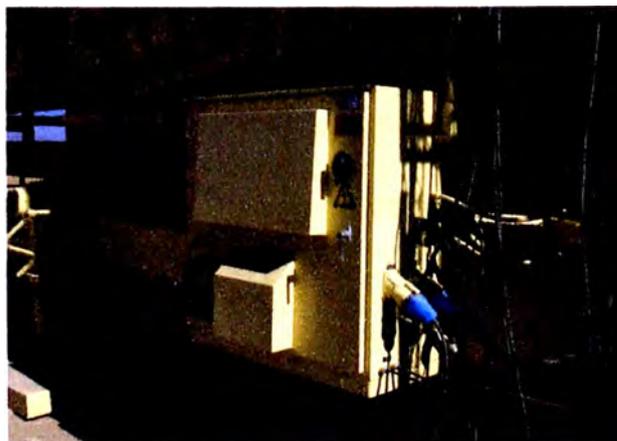


Foto 4.106 *El alambre preinstalado en los conductos y las conexiones enchufables permiten conectarse rápidamente*

Se ubica el tablero de alimentación principal mostrado en la Foto 4.107 y la caja de empalmes para el alambrado de la sala de control en la parte central de la planta. Esta ubicación central de los tableros permite que los tramos de cables sean cortos. La Turbo Six Pack tiene menos de cuarenta cables cubiertos de neopreno, lo cual acelera el

proceso de conexión eléctrica y permite almacenar el sistema rápidamente al trasladarlo a otro sitio.

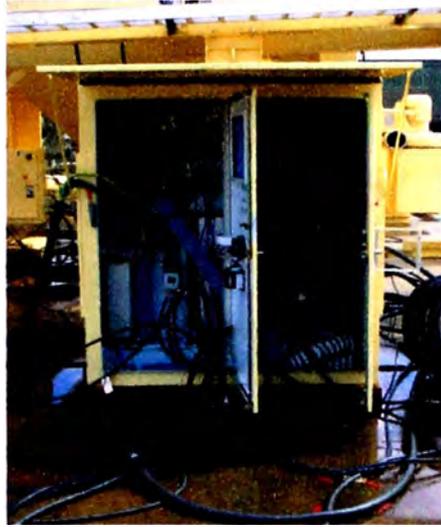


Figura 4.107 El tablero de alimentación permite conectar los cables rápidamente

Se instalan bandejas para los cables y se mantienen a los cables ordenados y levantados respecto al suelo. La desconexión y el almacenamiento de los cables, es un proceso que puede llegar a ocupar un día entero en otras plantas portátiles, con la Turbo Six Pack puede hacerse en aproximadamente dos horas.

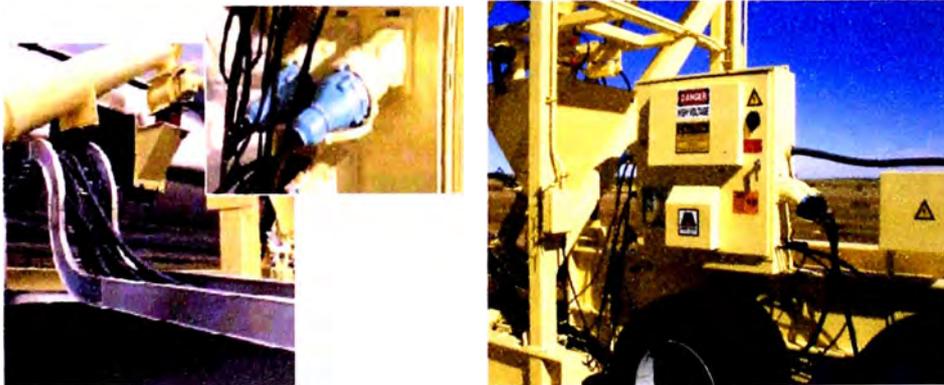


Figura 4.108 Las bandejas instaladas en cada equipo mantienen a los cables elevados sobre el suelo.

4.8 Calidad de la mezcla obtenida con cada alternativa tecnológica

En los últimos 35 años, se presentaron 3 cambios diferentes en diseños de mezclas de asfalto, desde el "Hubard Field" hasta "El Método Marshall". El sistema SuperPave es el cuarto gran cambio.

El asfalto es flexible y mucho más económico de poner y mantener que el concreto rígido. Hoy se usa en todo el mundo para construir carreteras y aeropuertos con superficie de rodaje de larga vida. Otra ventaja del asfalto es que es reciclable.

El "SHRP" (Strategic Highway Research Program) Programa Estratégico de Investigación de Carreteras" pasó 5 años probando e investigando antes de introducir el sistema "Superpave" en 1,992. El nombre "Superpave" es un acrónimo de Superior PERforming PAVements Comportamiento Superior de Pavimentos.

Los asfaltos modificados con aditivos designados en las mezclas "SuperPave" y "S.M.A." (Stone Matrix Asphalt) (Asfalto con Piedra Matriz) reducen la fatiga, el ahuellamiento y las grietas.

Las nuevas mezclas SMA fueron traídas desde Europa a los E.U.A cuando la ciudad de Atlanta fue nominada como sede de las Olimpiadas de 1,996, y el Estado de Georgia tuvo que buscar la forma de establecer las mejores vías de comunicación vial para recibir 12 millones de vehículos.

La piedra matriz fracturada de un solo tamaño es usada para eliminar la segregación del agregado, asfalto líquido modificado con polímero, fibra y cal para incrementar la adherencia, la estabilidad y crear una estructura integral de piedra con piedra para recibir el mayor porcentaje del peso vehicular, es una mezcla que contrasta con las mezcla convencionales en las que el 60% del peso del vehículo lo absorbe el asfalto.

Así se reduce al máximo el ahuellamiento y se eliminan los empozamientos de agua de lluvia por ser esta mezcla por naturaleza una superficie abierta, que drena lateralmente el agua y aumenta la visibilidad detrás de otro vehículo cuando se presentan las lluvias.

Las mezclas asfálticas SMA son más seguras. Se usa la mitad del espesor de una mezcla convencional y dura el doble de tiempo con más del 90% menos de mantenimiento. La superficie abierta se puede apreciar cuando llueve, pues parece estar seca.

En nuestro país el Perú, se deben promover nuevas tecnologías para la construcción y reconstrucción de carreteras. Es necesario reciclar el asfalto deteriorado de muchas de las vías y carreteras deterioradas de la mayor parte de nuestras ciudades y capitales de los departamentos. También es imprescindible cambiar las antiguas especificaciones de diseño y construcción vial y establecer requisitos y límites estipulados con las nuevas especificaciones técnicas de diseños de mezclas asfálticas.

Por lo tanto, los diseños de mezclas asfálticas en el Perú deben adaptarse a las condiciones reales, ya que son los mismos de hace 40 años y en muchos casos se cuenta con un solo de diseño para toda una región, donde las temperaturas, las alturas, topografía y la lluvia varían; por lo que a menudo necesitan ser totalmente distintos.

Según el Manual publicado por la "Federal Highway Administration" (FHWA), (Administración Federal de Carreteras), el Superpave está diseñado para cumplir tres fines principales:

- Investigar por qué algunos pavimentos se comportan bien y otros no.
- Desarrollar pruebas y especificaciones para materiales que tiendan a sobrepasar el comportamiento y la vida de pavimentos que se construyen hoy en día.

- Trabajar con las agencias de carreteras y con la industria para poner en práctica el uso de esas nuevas especificaciones.

La motivación por supuesto es económica. Más del 90% de todas las carreteras pavimentadas en los E.U.A han sido construidas con mezclas asfálticas en caliente, y han requerido gastos de mantenimiento de 10,000 millones de dólares. Si esas carreteras pudieran diseñarse para que duren más, el ahorro sería importante y sustancial.

Los principales elementos del sistema Superpave se basan en las siguientes categorías:

1. Materiales y diseños de mezclas.
2. Operación de las plantas de asfalto.
3. Pavimentación en carpetas existentes.
4. Sistemas de pavimentación y compactación.
5. Supervisión de campo.
6. Pruebas de laboratorio.
7. Control de calidad.
8. Capacitación y entrenamiento.

4.8.1 Materiales y diseños de mezclas

Existen tres elementos básicos en esta categoría ellos son:

- a) Agregados.
- b) Pegamento.
- c) Diseño de mezcla.

a.- Agregados. En vez de usar bandas de gradación se usan puntos de control determinados en las variables críticas establecidas en el Capítulo II en las cribas de acuerdo a las medidas específicas, para establecer las proporciones adecuadas en la gradación. Además, se establece una zona restringida en la línea de máxima densidad de la curva de gradación para limitar la cantidad de arena natural, la cual crea inestabilidad en la mezcla. La arena proveniente de la trituración es la mejor opción para lograr una buena mezcla.

Siendo los componentes primarios de la mezcla asfáltica la piedra y el bitumen o asfalto líquido, debemos considerar la importancia de la fuente proveedora del agregado, el cual compone el 95% de la mezcla con asfalto caliente.

El programa Superpave determina la necesidad de usar agregado con la abrasividad y dureza requerida y proveniente, únicamente, de una trituración adecuada que provea piedra fracturada con múltiples caras en todos los diferentes tamaños, incluyendo la arena.

La grava y arena natural de río sin triturar están totalmente desechadas y eliminadas en las tablas y curvas de gradación mediante una zona restringida, si el diseño de la mezcla contiene arena y gravilla de río sin triturar. Se ha demostrado que este material natural es causante en gran parte del ahuellamiento y grietas prematuras en el pavimento.

Las nuevas pruebas requieren angularidad de los finos, para asegurar un alto grado de fricción interior y resistencia al ahuellamiento. La angularidad en el agregado de mayor tamaño (caras fracturadas) ha sido parte de muchas especificaciones por mucho tiempo, y también es parte de los requerimientos del Superpave.

Estas pruebas ayudan a determinar el porcentaje de vacíos en agregados sin compactar de medida menor de 2.36 mm. Un contenido mayor de vacíos indica que existen más caras fracturadas.

La última de las nuevas pruebas de agregados de Superpave es la de partículas planas y alargadas para usarse con relaciones entre 5:1 y 3:1 en la mezcla.

En general, las nuevas especificaciones de agregados son un paso en la dirección correcta para mejorar el comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente.

b.- Pegamento (binder). Las especificaciones para el asfalto PG (Performance Graded) que se estipulan en el Superpave proveen un sistema para establecer la calidad del líquido asfáltico mezclante, el cual es mejor del que se utilizaba antes. Los estudios hechos por SHRP anteriormente se hacían con asfaltos vírgenes sin modificar. La mayoría de los asfaltos de calidad PG requieren modificación de aditivos para mejorar su comportamiento de acuerdo al tráfico en regiones en las que las temperaturas son más calientes o más frías.

Por ejemplo, un cemento asfáltico definido como PG 64-22 tiene excelente comportamiento en mezclas diseñadas para temperaturas máximas promedio de 64°C en un período de 7 días y mínimas de menos 22°C .

c.- Diseño de mezclas. La industria de HMA, (Hot Mix Asphalt) Mezclas Asfálticas en Caliente, está desarrollando una gran cantidad de información en la producción de mezclas Superpave.

Las mezclas con diseño Superpave requiere grandes cambios en el proceso de diseño de mezclas. El uso de un compactador giratorio junto con el control de propiedades volumétricas en el laboratorio presentadas en el Capítulo I, son elementos básicos de este proceso.

El NCHRP (Programa de Cooperación Nacional de Investigación de Carreteras) de los E.U.A, estima que debe hacerse un importante cambio en la filosofía referente al Superpave. Esto implica que el Superpave debe considerarse como un proceso de diseño de mezclas y no como una mezcla específicamente.

Otras mezclas como SMA (Stone Matrix Asphalt) (Asfalto con Piedra Matriz) y mezclas de piedra grande (LSM) pueden incluirse en el sistema Superpave. Superpave también describe diferentes niveles de diseño de mezclas de acuerdo al volumen y el peso del tráfico. El factor de costo efectivo, a largo plazo, también tiene una consideración significativa al tomar la decisión.

4.8.2 Operación de la planta de asfalto

Las plantas de asfalto que ofrecen mayor tiempo de mezclado secuencial son aquellas que producen mezclas asfálticas de excelente calidad de acuerdo a las especificaciones del diseño de la mezcla establecidas en las normas de asfalto.

La Tabla 4.18 indica la producción de mezclas asfálticas para cada alternativa tecnológica según los diseños de mezclas establecidos por "SHRP" (Strategic Highway Research Program) Programa Estratégico de Investigación de Carreteras" y (FHWA) "Federal Highway Administration" (Administración Federal de Carreteras).

ALTERNATIVA TECNOLÓGICA	DISEÑO DE MEZCLA PRODUCIDA
BATCH PLANTAS	HUBARD FIELD Y EL MÉTODO MARSHALL
PLANTAS CON TAMBORES MEZCLADORES DE FLUJO PARALELO	EL MÉTODO MARSHALL
PLANTAS CON TAMBORES MEZCLADORES DE CONTRA FLUJO	EL MÉTODO MARSHALL
PLANTAS CON TAMBOR MEZCLADOR DE CONTRA FLUJO DOUBLE BARREL DE ASTEC	SUPERPAVE Y S.M.A (STONE MATRIX ASPHALT)
PLANTAS CON TAMBOR MEZCLADOR DE CONTRA FLUJO TRIPLE DRUM DE CMI	SUPERPAVE Y S.M.A (STONE MATRIX ASPHALT)

Tabla 4.18 Mezclas asfálticas producidas según diseño para cada alternativa tecnológica

Actualmente, en toda Latinoamérica, las restricciones de contaminación exigen el uso de "baghouse" o "cámara de filtros", el cual debe obtener cero de contaminación tanto en el polvo como en los gases contaminantes.

Tal como hemos visto anteriormente, la tecnología del tambor mezclador que se requiere hoy debe incluir un sistema automático para controlar la relación de aire a combustible y eliminar la posibilidad de combustible en el agregado, por no quemarse al 100% debido a la insuficiencia de oxígeno. Lo opuesto es también problemático, pues cuando entra demasiado oxígeno se quema todo el combustible, pero el oxígeno que sobra reacciona con el bitumen y lo oxida; y el asfalto oxidado es asfalto muerto, sin adhesión.

La planta Double Barrel de ASTEC, asegura la calidad de la mezcla, con un mezclado secuencial de aproximadamente un minuto. El Double Barrel es un sistema de tambor con paletas por dentro para secar y por fuera para mezclar, el cual gira dentro de otro tambor fijo donde se efectúa la "mezcla secuencial", y el cual está aislado y recubierto con láminas de acero inoxidable que retienen el calor interior de forma que el consumo de combustible se reduce desde un 10% hasta un 15% comparado con el consumo de

los otros sistemas. Estando el agregado supercalentado en el tambor exterior, seco y listo, pasa a mezclarse primeramente (si vamos a reciclable), para entonces secarlo, derretirlo y recubrirse de éste antes de la entrada de asfalto virgen que ahora va a recubrir la piedra ya impregnada con el asfalto antiguo. Continúa la secuencia entonces más adelante con el ingreso de los finos o filler los cuales provienen del baghouse, el cual está recogiendo el 100% del polvo que antes iba a la atmósfera en los sistemas antiguos ya obsoletos.

Los aditivos provenientes del sistema de aditivos y silos como: cal, fibras también entran en la etapa final para terminar la secuencia del mezclado, proveyendo así una insuperable mezcla asfáltica. Si no se va a reciclar, el proceso es el mismo, pero sin el RAP. En el caso de que la relación de aire a combustible se altere por alguna razón, una alarma suena en la caseta de controles para prevenir al operador e indicar la razón del cambio (rotura de un sello, etc.). También suena una alarma cuando la compresión interna requerida cambia.

Otros sistemas como el flujo paralelo, flujo opuesto o dos tambores, sólo mezclan por 15 a 20 segundos y todos los componentes se juntan al mismo tiempo en el mismo sitio dentro del tambor, por lo cual hay que usar mínimos porcentajes de reciclaje, pues con tan poco tiempo de mezclado, afecta finalmente a la calidad de la mezcla.

Las operaciones de planta que deben ser consideradas incluyen el almacenaje de agregados, alimentación de los agregados a la planta, almacenaje del asfalto líquido, el secado y mezclado de los agregados con el cemento asfáltico y el almacenaje de la mezcla final.

El proceso de almacenamiento y alimentación de los agregados a la planta no se diferencia de los sistemas ya conocidos para hacer mezclas convencionales. El uso de asfaltos modificados requiere tanques con sistemas para mantener el asfalto líquido en movimiento y por ser más espeso por tener mayor viscosidad, un calentamiento más elevado para proporcionar la fluidez adecuada.

El secado y mezclado de materiales es el mismo para Superpave que para materiales convencionales, con excepción del incremento de la temperatura de mezclado. Asimismo, el almacenamiento es igual, pero la mezcla es más densa y requiere temperaturas entre 15°C a 24°C más altas para poder manejarlas en los silos y cargar los camiones.

4.8.3 Pavimentación en carpetas existentes

Actualmente existe la necesidad imperiosa de pavimentar segundas carpetas sobre superficies planas y uniformes, las cuales han sido fresadas y perfiladas con modernos equipos de fresado mostrados en la Foto 4.109, que tienen sistemas de nivelación tipo láser para promover y proveer rugosidades mínimas y al mismo tiempo suministrar una gran cantidad de producto asfáltico reciclable, el cual va reducir el costo del material componente de la mezcla asfáltica hasta en un 50%. En tal sentido es necesario dejar el antiguo sistema de pavimentar asfalto sobre asfalto, porque con el tráfico, la superficie de rodaje vuelve a expresar las mismas condiciones de ahuellamiento y grietas que había antes de la nueva carpeta asfáltica.



Foto 4.109 *Fresadora RX 400 de ROADTEC cortando pavimento asfáltico antiguo*

4.8.4 Pavimentación continua y compactación

Se usa equipo convencional para pavimentar, aunque en algunos estados en los E.U.A y en Europa se requiere un vehículo transportador de material que descarga los camiones rápidamente en su tolva de 25 ton, con un tornillo que tiene en el fondo de la tolva que remezcla el material para reducir la segregación del agregado en la mezcla y redistribuir la temperatura para evitar la segregación de temperatura en la carpeta final. ROADTEC es una empresa hermana de las 15 empresas de ASTEC INDUSTRIES que proporciona equipo, tecnología y servicios desde la cantera hasta la carretera.

El Shuttle Buggy mostrado en la Foto 4.110, es una tolva auto-propulsada de 25 toneladas, montada en 4 llantas gigantes y que descarga un camión de 25 ton en 80 segundos, remezclando el material con un tornillo sinfín en el fondo de dicha tolva, que remezcla el material eliminando la segregación del agregado, al igual que la segregación de temperatura. Ambas son consecuencia del deterioro prematuro de pavimentos construidos con sistemas antiguos y de poca conveniencia económica.



Foto 4.110 *Shuttle Buggy modelo SB 2500 de ROADTEC*

Cada vez que el camión se conecta con la pavimentadora el impacto, por mínimo que sea, va a generar un bache, que se convertirá en el futuro en grietas con el intenso tráfico. Cualquier cambio de velocidad o parada de la pavimentadora va a tener el mismo resultado. Esta patente exclusiva de ROADTEC transporta la mezcla y la deposita en la pavimentadora sin tocarla, eliminando la posibilidad de cambiar de velocidad, golpes de camión o paradas innecesarias. Teniendo en consideración que si la carpeta asfáltica muestra diferencias de temperatura inadecuadas, las densidades van a ser muy diferentes y la compactación no podrá ser homogénea, lo que crea un deterioro prematuro de la carretera, pues las mezclas más frías van a tener densidades más bajas y la compactación no va a ser la requerida.

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

La compactación ha sido probablemente el problema más común experimentado en los diseños de mezclas Superpave, aunque algunos de los problemas no tienen que ver con Superpave, pero si con la falta de buenas técnicas de construcción originan serios problemas a los pavimentos. En algunos casos se ha encontrado menos cantidad de asfalto óptimo, con mayor contenido de partículas trituradas.

En todas las pavimentaciones con mezclas asfálticas en caliente, el contratista o ejecutor de las obras de pavimentación debe entender la íntima relación que existe entre la mezcla, compactación y segregación. En el caso de SMA, por ser la mezcla más pegajosa, el uso de compactador de llantas no es recomendable, siendo la compactación inmediatamente después de la pavimentadora de rodillo vibratorio doble tándem.

4.8.5 Supervisión de campo

El personal de supervisión de campo debe ser el más calificado y exigente en la ejecución de la pavimentación con la tecnología Superpave. Si el sistema de control y supervisión no se hace cumplir los requisitos y especificaciones técnicas, entonces, el adoptar diseños de mezclas asfálticas bajo parámetros del Superpave no va a ayudar a mejorar el comportamiento de los pavimentos.

Según la normativa peruana los organismos gubernamentales están haciendo responsable al contratista del diseño de la mezcla y del proceso de control de calidad requerido.

4.8.6 Las pruebas de laboratorio

La predicción del comportamiento de un pavimento es un proceso muy complicado. Es muy sencillo realizar una prueba en el laboratorio y desarrollar la información sobre los materiales evaluados. Es mucho más difícil usar esa información para predecir el comportamiento de los materiales de mezclas en caliente para distintas realidades o condiciones en los lugares en los cuales se van a construir las vías. Existen tantas variantes existentes en la superficie del suelo que es extremadamente difícil el predecir con exactitud el comportamiento del pavimento. Lo más cercano a poder predecir la vida de una mezcla asfáltica es el equipo de laboratorio patentado por el Ing. Ronald Collins, presidente de "Pavement Technology Inc." y denominado "Asphalt Pavement Analyzer", el cual fue usado en Georgia por varios años para predecir el comportamiento de los pavimentos.

4.8.7 Control de calidad

Todo el esfuerzo de superación para que nuestras vías terrestres de comunicación sean de alta calidad al ritmo de la tecnología de punta de la industria del asfalto, descansa fundamentalmente en la tecnología de última generación, nuestros laboratorios y en la ética y responsabilidad de los supervisores o inspectores, quienes tienen la obligación de proteger los mejores intereses de los pueblos, la población y su futuro; de esta forma se garantiza el desarrollo humano, social y económico, de conformidad con la conservación de nuestra madre naturaleza.

4.8.8 Capacitación y entrenamiento

El proceso de entrenamiento de personal en la industria del asfalto caliente se está desarrollando con mucho interés, sin embargo queda mucho por hacer en Latinoamérica y especialmente en el Perú.

Ronald Collins, ingeniero jefe retirado del Estado de Georgia, encargado de materiales e investigaciones de pavimentos, dice: *“que muchos estados han cumplido con la fecha meta para implementar las especificaciones del asfalto líquido o ligamento para las mezclas en caliente. Un número de esos estados están estudiando esos proyectos y obteniendo la experiencia de trabajar con el Superpave. Otros estados están poniendo en práctica el Superpave desde el año 2,000”*.

La industria del asfalto está todavía en el proceso de aprender acerca de Superpave. Nos dice Collins, continuando su explicación, que los contratistas en muchos países están haciendo trabajos de prueba para obtener más experiencia con las mezclas Superpave. De todas formas, el diseño con Superpave ha logrado abrir las puertas al interés y la conciencia de los gobiernos y los pueblos en Latinoamérica para tratar de mejorar y aumentar la vida de sus carreteras.

Estamos empezando a ver en algunos de nuestros países latinos la puesta en práctica de controles de calidad, el uso de asfalto modificado y agregados de mejor calidad, requerimientos de rugosidad mínima y garantías en los trabajos de pavimentación. Y eso es ya un paso de avance cuyos resultados serán muy positivos.

4.9 Localización de la planta de asfalto

Es una técnica de decisión del lugar o área geográfica para el funcionamiento de la planta de asfalto que puede ser elección de la región y dentro de ello elección de la localidad o lugar, debe considerar elementos como: ubicación del insumo, centros de distribución o consumo, mercado externo y razones geográficas; siendo necesario en cada caso la determinación de los factores más relevantes que afectan en forma directa a la técnica de localización del proyecto considerando las siguientes interrogantes:

- ¿A qué niveles debemos hacer la localización de la planta de asfalto en caliente?
- ¿Cuáles son las alternativas viables para una buena localización?
- ¿Cuáles son los elementos a considerar dentro de la técnica de localización?
- ¿Cuáles son los criterios de localización frente a la disponibilidad de mercado de factores, medios adecuados de transporte, mercados de consumo y disponibilidad de la mano de obra?
- ¿Cuáles son los factores determinantes para la decisión final de localización?
- ¿Considerando la compatibilidad con las conclusiones de mercado, tamaño, proceso de producción, insumos, costos y obras físicas, cuál es el criterio a considerar?

La Técnica de Localización tiene por objetivo determinar la mejor localización a partir del estudio de una serie de alternativas que probablemente existan dentro de una macrolocalización, las mismas que se irán descartando en la medida que exista una alternativa que satisfaga por lo menos las siguientes exigencias:

TESIS “PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN”

- a) La menor dificultad de acceso de los contratistas o ejecutores de obras a la zona de despacho de la mezcla asfáltica en caliente producida en planta de asfalto.
- b) El menor costo por tonelada de la mezcla asfáltica en caliente puesto en planta considerando los factores que constituyen la demanda derivada.
- c) El menor costo por tonelada de la mezcla asfáltica en caliente puesto en la obra considerando los factores que constituyen la demanda dirigida.

La localización puede tener un efecto condicionador sobre la tecnología utilizada en el proyecto, tanto por las restricciones físicas que importa como por la variabilidad de los costos de operación y capital de las distintas alternativas tecnológicas asociadas a cada ubicación posible. Al estudiar la localización del proyecto se puede concluir que existe más de una solución factible adecuada. Mayor aun cuando el análisis se realiza en nivel de prefactibilidad, donde las variables relevantes no son calculadas en forma concluyente.

De igual manera, una localización que se ha determinado como óptima en las condiciones vigentes puede no serlo en el futuro. Por tanto la selección de la ubicación debe tener en cuenta su carácter definitivo o transitorio y optar por aquella que permite obtener el máximo rendimiento del proyecto.

El estudio de la localización no será entonces solamente una evaluación de factores tecnológicos. Su objetivo es más general que la ubicación por sí misma: es elegir aquella que permite las mayores ganancias entre las alternativas que se consideran factibles. Sin embargo, tampoco el problema es puramente económico.

Los factores técnicos, legales, tributarios, sociales, medio ambientales etc., deben necesariamente tomarse en consideración, sólo que la unidad de medida que mida sus efectos en el resultado del proyecto puede reducirse, en algunos casos, a términos monetarios. Siempre quedará la variable subjetiva no cuantificable que afectará la decisión; por ejemplo, las motivaciones personales del inversionista, voluntad política, condiciones sociales, etc.

La teoría económica de la localización reduce el problema a un aspecto de ganancias máximas. Esto es, considerar el objetivo más general del proyecto: aquella localización que le otorgue la mayor rentabilidad. Para esto es necesario elaborar y evaluar el flujo de efectivo relevante de cada alternativa.

El análisis de la ubicación del proyecto puede realizarse con distintos grados de profundidad, que dependen del carácter de factibilidad, prefactibilidad o perfil del estudio. Independientemente de ello, hay dos etapas necesarias que realizar: la selección de una macrolocalización y, dentro de ésta, la de la microlocalización definitiva. Muchas veces se considera que en nivel de prefactibilidad sólo es necesario definir una macrozona, pero no hay una regla al respecto.

La selección de la macro y microlocalización está condicionada al resultado del análisis de lo que se denomina factor de localización. Cada proyecto específico tomará en consideración un conjunto distinto de estos factores.

Igualmente, la selección de la macrozona tendrá que considerar, para un mismo proyecto, muchos factores de localización diferentes de los que se utilizarán en la selección de la microubicación; por ejemplo, factores como: disponibilidad de canteras, políticas impositivas, influencias climáticas y otras que tienen preponderancia en la selección de la macrolocalización, no son relevantes para elegir una microzona dentro de aquella, puesto que su efecto sería común a toda ella. En teoría, las alternativas de ubicación de un proyecto son infinitas. En términos prácticos, el ámbito de elección no es tan amplio, pues las restricciones propias del proyecto descartan muchas de ellas.

La selección previa de una macrolocalización permitirá, mediante un análisis preliminar, reducir el número de soluciones posibles al descartar los sectores geográficos que no respondan a las condiciones requeridas por el proyecto. Sin embargo, debe tenerse presente que el estudio de la microlocalización no corregirá los errores en que se pudo haber incurrido en la macrolocalización. El análisis de microlocalización sólo indicará cuál es la mejor alternativa de instalación dentro de la macrozona elegida.

La deficiente recolección de datos es la principal causa de los errores de la selección, que se manifiesta generalmente en costos excesivamente altos, debidos a la "atracción del lugar", a medios de transporte insuficientes, a dificultades para captar mano de obra especializada en número suficiente, a la falta de agua y a la incapacidad de deshacerse de desechos, entre otros factores.

4.9.1 Factores de localización

Las alternativas de instalación de la planta de asfalto deben compararse en función de las fuerzas locacionales típicas de los proyectos. Se han elaborado muchas listas de estas fuerzas locacionales como elementos de referencia para su evaluación. Algunas, como la publicada en la revista *Industrial Developmet*, por ejemplo, ha llegado a presentar una lista de 753 de estos factores. Una clasificación más concentrada debería incluir por lo menos los siguientes factores globales:

- Medios y costos de transporte.
- Disponibilidad de agregados.
- Disponibilidad y costo de mano de obra.
- Factores ambientales.
- Cercanía de las fuentes de abastecimiento.
- Cercanía del mercado.
- Costo y disponibilidad de terrenos.
- Topografía de suelos.
- Estructura impositiva y legal.
- Disponibilidad de agua, energía y otros suministros.
- Comunicaciones.
- Posibilidad de desprenderse de desechos.
- Repercusiones en el desarrollo.

La tendencia de localizar el proyecto en la cercanía de las fuentes de materias primas, por ejemplo, depende del costo del transporte. Normalmente, cuando la materia prima

para el caso de las mezclas asfálticas son los agregados, la localización tiende hacia la fuente de insumo o cantera de agregados. La disponibilidad de los insumos, cualquiera sea su naturaleza, debe estudiarse en términos de la regularidad de su abastecimiento, perecibilidad, calidad y costo.

La tecnología del proceso de producción de mezcla asfáltica en caliente puede también en algunos casos convertirse en un factor prioritario de análisis, si requiriera algún insumo en abundancia y a bajo costo, tales como cemento asfáltico, combustible, agregados, o equipos para la extracción y explotación de canteras.

Existen, además, una serie de factores no relacionados directamente con el proceso productivo, pero que condicionan en algún grado la localización del proyecto. Dervitsiotis señala, en este aspecto, tres factores que denomina genéricamente ambientales:

- a) La disponibilidad y confiabilidad de los sistemas de apoyo, donde incluye los servicios públicos de electricidad y agua, protección contra incendios, comunicación rápida y segura y otros;
- b) Las condiciones sociales y culturales, donde se estudian no sólo las variables demográficas como tamaño, distribución, edad y cambios migratorios, entre otras, sino también aspectos como la actitud hacia la nueva industria, disponibilidad, calidad y confiabilidad en los trabajadores en potencia, tradiciones y costumbres que pueden interferir con las modalidades conocidas de realizar negocios, entre otras, y
- c) Las consideraciones legales y políticas que dan el marco de restricciones y oportunidades al análisis, tales como leyes sobre niveles de contaminación, especificaciones de construcción, franquicias tributarias o agilidad en la obtención de permisos para las nuevas instalaciones.

Otro factor importante en la decisión es el costo del transporte. La distancias entre las alternativas de localización con las fuentes de abastecimiento y el mercado consumidor debe considerarse, principalmente, en función de los costos que implica el transporte.

Para el caso de la ubicación de la planta de asfalto, utilizaremos la metodología del Método Cualitativo por Puntos. Este método consiste en definir los principales factores determinantes de una localización, para asignarles valores ponderados de peso relativo, de acuerdo con la importancia que se les atribuye. El peso relativo, sobre la base de una suma igual a uno, depende fuertemente del criterio y experiencia del evaluador.

Al comparar dos o más localizaciones opcionales, se procede a asignar una calificación a cada factor en una localización de acuerdo con una escala predeterminada que para nuestro caso es de 0 a 10. La suma de las calificaciones ponderadas permitirá seleccionar la localización que acumule el mayor puntaje.

La Tabla 4.19 muestra la aplicación de la metodología del Método Cualitativo por Puntos, obteniéndose el lugar B como la mejor localización que ofrece las mejores ventajas y la mayor calificación total ponderada.

LOCALIZACIÓN FACTORES	PESO RELATIVO	A		B		C	
		CALIFICACION	PONDERACION	CALIFICACION	PONDERACION	CALIFICACION	PONDERACION
MEDIOS Y COSTOS DE TRANSPORTE	0.08	5.00	0.40	3.00	0.24	5.00	0.40
DISPONIBILIDAD DE AGREGADOS	0.10	8.00	0.80	1.00	0.10	9.00	0.90
DISPONIBILIDAD Y COSTO DE MANO DE OBRA	0.09	4.00	0.36	9.00	0.81	3.00	0.27
FACTORES AMBIENTALES	0.16	4.00	0.64	10.00	1.60	1.00	0.16
CERCANÍA DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO	0.05	6.00	0.30	5.00	0.25	2.00	0.10
CERCANÍA DEL MERCADO	0.10	7.00	0.70	2.00	0.20	4.00	0.40
COSTO Y DISPONIBILIDAD DE TERRENOS	0.07	2.00	0.14	7.00	0.49	8.00	0.56
TOPOGRAFÍA DE SUELOS	0.02	8.00	0.16	3.00	0.06	6.00	0.12
ESTRUCTURA IMPOSITIVA Y LEGAL	0.08	4.00	0.32	4.00	0.32	10.00	0.80
DISPONIBILIDAD DE AGUA, ENERGÍA Y OTROS SUMINISTROS	0.10	3.00	0.30	6.00	0.60	7.00	0.70
COMUNICACIONES	0.05	1.00	0.05	8.00	0.40	4.00	0.20
POSIBILIDAD DE DESHACERSE DE DESECHOS	0.04	2.00	0.08	5.00	0.20	3.00	0.12
REPERCUSIONES EN EL DESARROLLO	0.06	9.00	0.54	10.00	0.60	2.00	0.12
TOTALES	1.00		4.79		5.87		4.85

Tabla 4.19 Matriz de localización elaborada por la metodología del método cualitativo por puntos

4.10 Facilidad de prearmado mantenimiento y servicio de post venta de la mejor alternativa tecnológica

La planta de asfalto Turbo Six Pack de la Foto 4.111, es la planta portátil de mezcla caliente más moderna y más tecnológicamente avanzada disponible en el mercado de hoy. Muchas de las características que facilitan el emplazamiento, transporte y mantenimiento de la Turbo Six Pack sencillamente no se ofrecen en otras plantas portátiles.

Otra importante ventaja de la planta de asfalto es el prearmado de la partes o componentes, debido a que reduce significativamente el número de horas que se necesita para el instalación y montaje.



Foto 4.111 Planta de asfalto Turbo Six Pack ASTEC instalada en Nashville E.U.A

Las escalerillas, peldaños y barandas se arman totalmente en el lugar donde va a operar la planta, asimismo los tabiques laterales vienen preinstalados como lo muestra la Foto 4.112.

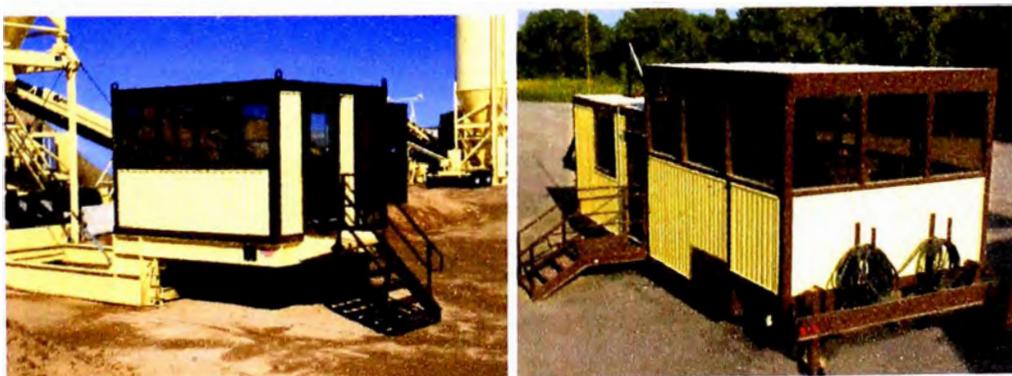


Foto 4.112 Facilidad del ensamblaje de escalerillas, peldaños y barandas

La instalación de tuberías y alambres en sus conductos que se hace en la fábrica puede ahorrarle muchas horas de trabajo cada vez que se traslade la máquina. Las bolsas filtradoras de la cámara de filtros y los tubos instalados en la máquina ayudan al personal a evitar la tarea difícil y consumidora de tiempo de instalar este sistema por sí mismos.

Otras ventajas incluyen la zaranda preinstalada en el transportador inclinado y las consolas montadas con alambrado instalado en la sala de control mostradas en la Foto 4.113.



Foto 4.113 Todos los tableros de control vienen completamente armados y con el alambrado instalado

La planta de asfalto Turbo Six Pack ha sido fabricada para ser transportada en forma modular con facilidad para el acceso, controles y mantenimiento como lo muestra la Foto 4.114. También se considera en la evaluación el mejor acceso para el mantenimiento, el servicio permanente y de calidad al cliente y la eficiencia en la producción de las mezclas asfálticas, lográndose de esta forma una ventaja comparativa que servirá para obtener mezclas de asfalto con calidad, con el menor costo y con bajos niveles de contaminación.

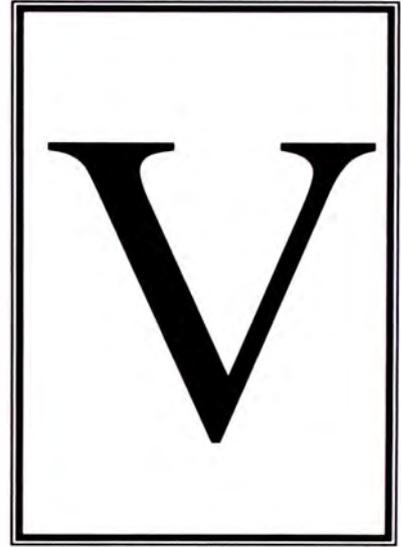


Foto 4.114 Facilidad para el acceso, controles y mantenimiento de la planta de asfalto de ASTEC

Otro aspecto o factor importante en la evaluación es el servicio de post venta on line que ofrece ASTEC el cual incluye asesoramiento permanente con la asistencia de los técnicos y especialistas de en cualquier lugar donde se encuentre operando la planta.



CAPÍTULO



ANÁLISIS DE COSTOS

El dinero y el tiempo son las cargas más pesadas de la vida, y los más infelices de los mortales son aquellos que les sobran las dos cosas y no tienen tiempo para disfrutarlas.

SAMUEL JOHNSON

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

5.1 Costo de la inversión de la planta de asfalto

Para realizar el cálculo del costo de la inversión total de la planta de asfalto, se está considerando tres tipos de costos, ellos son: Costos de Adquisición, Costos de Montaje y los Costos de la Puesta en Marcha.

La estructura de los principales costos que intervienen en la inversión de la planta de asfalto se muestra en la Figura 5.1.



Figura 5.1 Estructura de costos de la inversión de la planta de asfalto

5.1.1 Costos de adquisición de la planta: partes, componentes, equipos y transporte

El Análisis de la Inversión estará referido al modelo de planta con tambor mezclador Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC cuya tecnología ha sido evaluada y elegida en el Capítulo IV de la presente Tesis.

Es importante indicar que la planta seleccionada en el Capítulo IV como la mejor tecnología en la producción de mezcla asfáltica en caliente, es la Turbo Double Barrel de ASTEC y para nuestro caso es el Modelo PDB 200 con producción horaria de 200 tph de mezcla asfáltica en caliente para el 5% de humedad de agregados. La Tabla 5.1 presenta las características y la producción horaria de mezcla asfáltica en caliente

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE ASFALTO	PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA TPH
SIX PACK PORTÁTIL DOUBLE BARREL MODELO PD-200	200

Tabla 5.1 Modelo de planta turbo Double Barrel y producción en tph

Para el cálculo de los costos referenciales de los componentes y costo total referencial los cuales se muestran en la Tabla 5.2 de la Planta de Asfalto Modelo PDB 200 de ASTEC, se ha realizado mediante cotizaciones de ASTEC, ALMIX y FACO para plantas con similares características en lo que respecta a la producción de mezcla horaria.

DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES, COMPONENTES Y GASTOS	COSTO REFERENCIAL U.S \$
05 TOLVAS ALIMENTADORAS EN FRÍO O DE AGREGADOS VÍRGENES	92,500.00
FAJA TRANSPORTADORA DE AGREGADOS VÍRGENES	12,500.00
CHASIS PARA EL MONTAJE DEL TAMBOR MEZCLADOR DOBLE BARREL	7,200.00
TAMBOR SECADOR MEZCLADOR DOBLE BARREL	450,000.00
CASETA DE CONTROL	25,000.00
TRANSPORTADOR DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	90,000.00
TOLVA Y DOSIFICADOR DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	66,000.00
TANQUE PARA COMBUSTIBLE	8,500.00
TANQUE PARA ASFALTO CON BOMBA	65,550.00
SILO PARA FILLER	20,000.00
FILTRO DE MANGAS O BAGHOSE	100,000.00

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

CALENTADOR DE ACEITE TÉRMICO	32,000.00
TUBERÍA COMPLETA PARA CONEXIONES DE TANQUES DE ASFALTO	9,000.00
TUBERÍA COMPLETA PARA CONEXIONES DE TANQUES DE COMBUSTIBLE	6,000.00
LOTE DE REPUESTOS	10,000.00
SILO PARA MEZCLA EN CALIENTE 50-100 TON	70,000.00
SUB TOTAL PRECIO F.O.B CHATTANOOGA, TENNESSEE	1'064,250.00
FLETE TERRESTRE CHATTANOOGA, TENNESSEE- MIAMI	20,000.00
FLETE MARÍTIMO MIAMI- CALLAO	80,000.00
PRECIO CIF CALLO	1'164,250.00
IMPUESTO 30% CIF	349,275.00
GASTO DE DESADUANAJE	4,000.00
DERECHO DE DESCARGA	8,000.00
COSTO TOTAL REFERENCIAL \$ US	1'525,525.00

Tabla 5.2 Costos de componentes y costo total de adquisición referencial de la planta de asfalto Turbo Double Barrel modelo PDB 200 de ASTEC

5.1.2 Costo de montaje de la planta de asfalto

a.- Cálculo de costo de planificación y programación del montaje

El costo de planificación y programación del montaje se muestra en la Tabla 5.3.

DESCRIPCIÓN DEL COSTO	COSTO DE ADQUISICIÓN DE LA PLANTA DE ASFALTO \$ US	PORCENTAJE ESTIMADO %	TOTAL \$ US
PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL MONTAJE	1'525,525.00	1	15,255.25

Tabla 5.3 Costo de planificación y programación del montaje de la planta de asfalto Turbo Double Barrel modelo PDB 200 de ASTEC

b.- Cálculo del requerimiento de personal técnico y especializado

Para calcular el costo del montaje de la Planta de Asfalto Turbo Double Barrel Modelo PDB 200 de ASTEC, utilizamos la información de la Tabla 3.4 Rendimiento Promedio del Capítulo III, para el caso de las obras civiles se ha tomado como referencia los rendimientos para edificaciones de la CAPECO y para el resto de partidas se ha tomado como referencia los rendimientos de Plantas Industriales. La Tabla 5.4 muestra el rendimiento y el número total de horas hombre.

DESCRIPCIÓN DE PARTIDA	RENDIMIENTO x METRADO	PARCIAL h-h
MOVIMIENTO DE TIERRAS	48 hh /há x 2 há	96
CIMENTACIONES Y DUCTOS	45 hh /m ³ x 89 m ³	4,005
MONTAJE DE TOLVAS EN FRÍO Y RAP	100 hh /tn x 11.5 tn	1,150
MONTAJE DE TAMBOR MEZCLADOR	200 hh / tn x 26.5 tn	5,300
MONTAJE DEL FILTRO DE MANGAS	100 hh / tn x 15 tn	1,500
TANQUES DE ASFALTO Y COMBUSTIBLE	80 hh / tn x 14 tn	1,120
ESTRUCTURAS METÁLICAS	130 hh / tn x 8 tn	1,040
MONTAJE DE SILOS	100 hh /tn x 8 tn	800
CABINA DE CONTROL	50 hh /tn x 1 tn	50
TOTAL h-h		15,061

Tabla 5.4 Rendimiento promedio y total horas-hombre

Según la programación de obra correspondiente al montaje de la planta de asfalto se tiene la información indicada en la Tabla 5.5.

DESCRIPCIÓN	DURACIÓN
MONTAJE DE LA PLANTA DE ASFALTO	2 MESES
DÍAS DE TRABAJO POR MES	22 DÍAS
HORAS DE TRABAJO DIARIO	8 HORAS

Tabla 5.5 Descripción de la duración del montaje de la planta de asfalto

A continuación se debe calcular la cantidad total de personas que intervendrían en el proceso del montaje de la planta de asfalto tanto el personal técnico como personal especializado.

Entonces se tiene: $2 \times 22 \times 08 = 352$ horas-hombre (h-h)

$$REQUERIMIENTO - DE - PERSONAL = \frac{15,061h - h}{352h - h} = 42.79 \approx 43 - PERSONAS$$

Por lo tanto la cantidad de 43 personas serán requeridas y distribuidas de la siguiente forma:

1.- Personal técnico

La cantidad y asignación del personal técnico se muestra en la Tabla 5.6.

PERSONAL TÉCNICO ASIGNADO PARA OPERAR MAQUINARIA Y EQUIPOS	CANTIDAD
OPERADOR DE TRACTOR DE ORUGAS	02
OPERADOR DE CARGADOR RETROEXCAVADORA	02
OPERADOR DE RODILLO VIBRATORIO	01
OPERADOR DE MOTOSOLDADORA	01
OPERADOR DE GRÚA	02
TOPÓGRAFO PARA NIVEL LÁSER Y TEODOLITO	03
OPERADOR DE TIRFOR	02
OPERARIOS PARA HERRAMIENTAS EN GENERAL	23
TOTAL	36

Tabla 5.6 Requerimiento y asignación del personal técnico

2.- Personal especializado

La cantidad y asignación del personal técnico se muestra en la Tabla 5.7.

PERSONAL ESPECIALIZADO	CANTIDAD
GERENTE DE PROYECTO	01
INGENIERO RESIDENTE	01
GERENTE DE CONSTRUCCION	01
GERENTE DE CALIDAD	01
MECÁNICOS MONTAJISTAS	02
ESPECIALISTA EN BOMBAS	01
TOTAL	07

Tabla 5.7 Requerimiento y asignación del personal especializado

c.- Cálculo del costo del personal técnico y especializado

Para realizar el cálculo del costo del personal técnico se ha considerado los Costos de Construcción Civil actualizados al mes de marzo del 2006 con la cotización de S/. 3.30 / dólar americano. Para el caso del Personal Especializado se ha tomado como referencia los sueldos promedios de empresas contratistas de mediana capacidad de volumen de contratación con mostos contratados anuales entre \$ US 1'000,000 y 1'500,000.

1.- Personal técnico

El costo total correspondiente al personal técnico se muestra en la Tabla 5.8.

PERSONAL TÉCNICO ASIGNADO PARA OPERAR MAQUINARIA Y EQUIPOS	CANTIDAD hh	PRECIO UNITARIO \$ US	PARCIAL \$ US
OPERADOR DE TRACTOR DE ORUGAS	440.00	1.66	730.40
OPERADOR DE CARGADOR RETROEXCAVADORA	220.00	1.66	365.20
OPERADOR DE RODILLO VIBRATORIO	110.00	1.66	182.60
OPERADOR DE MOTOSOLDADORA	110.00	1.66	182.60
OPERADOR DE GRÚA	130.00	1.66	215.80
TOPÓGRAFO PARA NIVEL LÁSER Y TEODOLITO	220.00	1.70	374.00
OPERADOR DE TIRFOR	330.00	1.66	547.80
OPERARIOS PARA HERRAMIENTAS EN GENERAL	3,080.00	1.48	4,558.40
TOTAL			7,156.80

Tabla 5.8 Costo total del personal técnico

2.- Personal especializado

La cantidad y asignación del personal técnico se muestra en la Tabla 5.9

DESCRIPCIÓN DEL PERSONAL ESPECIALIZADO	CANTIDAD	MESES	COSTO UNITARIO \$ US	PARCIAL \$ US
GERENTE DE PROYECTO	01	02	2,500.00	5,000.00
INGENIERO RESIDENTE	01	02	1,900.00	3,800.00
GERENTE DE CONSTRUCCION	01	02	2,200.00	4,400.00
GERENTE DE CALIDAD	01	02	2,000.00	4,000.00
MECÁNICOS MONTAJISTAS	02	02	1,500.00	6,000.00
ESPECIALISTA EN BOMBAS	01	02	1,600.00	3,200.00
TOTAL				26,400.00

Tabla 5.9 Costo total del personal especializado

d.- Cálculo del costo de alquiler de la maquinaria y equipo

Para realizar el cálculo del costo de alquiler de la maquinaria y equipo a utilizar en el montaje y puesta en marcha de la planta de asfalto, se ha tomado como referencia a las Tarifas Aprobadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones el mismo que se transcribe literalmente a continuación:

APRUEBAN TARIFAS DE ALQUILER DE HORARIO DE MAQUINARIA Y EQUIPO PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Mediante Oficio 1ro. 653-2006-MTC/02 de fecha 15 de Mayo de 2007, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones tomo la decisión de constituir una Comité que se encargue de la formulación de tarifas y precios referenciales de mano de obra y materiales. La representación del Ministerio de Transportes estuvo integrada por los Ings. Rodolfo Castillo A. y Hugo Córdor A. de Provias Nacional; y, Augusto Lazo y Pedro Sáenz de la Oficina de Equipo Mecánico de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.

En el referido oficio del Ministerio de Transportes se hizo extensiva la invitación para que la Cámara Peruana de la Construcción CAPECO, a través de sus representantes integre dicho Comité. Es por ello que nuestra institución mediante comunicación del 18 de mayo de 2007, designó a los Ings. Ernesto Tejeda Moscoso, integrante del Consejo Directivo de Capeco; Javier Jordán, Rodolfo Sotelo y Carlos Lazarte del Comité de Infraestructura de Capeco.

El Comité para la formulación de tarifas y precios referenciales de mano de obra y materiales, tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

1. Considerar como valor de adquisición, el costo de equipos puestos en el país, de acuerdo a las cotizaciones de cada uno de los proveedores que obtuviera el MTC y CAPECO.
2. Considerar que la tasa de interés a aplicar para el cálculo de la tarifa de equipo, será la TASA ACTIVA en MONEDA NACIONAL (TAMN) del mes anterior al que se efectuara la tabla referencial.
3. El porcentaje de seguros y almacenaje, será del 1.5% del valor de Adquisición del Equipo.
4. El consumo de los insumos para la operatividad de los diferentes equipos (combustible, aceites, grasas, llantas, etc.), será el considerado en las tarifas incluidas en el Estudio que realizó para el Ministerio de Transportes y Comunicaciones el Ing. Rodolfo Castillo A.
5. El Valor de Rescate, será el considerado en la matriz primigenia del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
6. En lo que respecta al porcentaje de repuestos y mantenimiento, durante la vida útil del equipo se acordó el porcentaje sobre el Valor de Adquisición.

Asimismo, nuestra institución obtuvo una serie de cotizaciones de los equipos correspondientes a Chancadoras y Plantas de Asfalto, así como de equipos y maquinarias de Proveedores. Capeco también planteó en la matriz del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de las Tarifas de Alquiler de Equipos y Maquinarias, el

cálculo del costo de Posesión y Operación de 127 equipos, obtenido sobre la base de las cotizaciones recabadas tanto por Capeco como por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Luego de diversas reuniones de trabajo, el Comité Técnico para la formulación de tarifas y precios referenciales de mano de obra y materiales, culminó con su labor expidiendo el cuadro de tarifas.



TARIFA TÉCNICA DE EQUIPO MECÁNICO

Aprobado por el Comité Técnico(*) para la formulación de tarifas y precios referenciales de mano de obra y materiales

(*) Comité Técnico:

**Cámara Peruana
de la Construcción:**

Ing. Ernesto Tejeda M.
Ing. Javier Jordán
Ing. Rodolfo Sotelo
Ing. Carlos Lazarte S.

**Ministerio de Transportes
y Comunicaciones:**

Ing. Rodolfo Castillo A.
Ing. Hugo Cóndor A.
Ing. Augusto Lazo
Ing. Pedro Saenz

Junio 2007

TARIFA TÉCNICA DE EQUIPO MECÁNICO PARA LA INDUSTRIA
 (Costos Expresados en Nuevos Soles y sin IGV)

JUNIO 2007

Nº	EQUIPO	POTENCIA	CAPACIDAD	PESO (KG)	Vida	VPI	Vida	VALOR		VALOR		COSTO DE POSESION	COSTO DE OPERACION	COSTO HORARIO
					Útil Años	(n+1)/2n	Útil Horas	ADQUISICION US \$	S/	RESIDUAL %	S/	TOTAL (A)	TOTAL (B)	(A+B)
EQUIPOS PARA PERFORACION														
1	COMPRESORAS NEUMATICAS	44 HP	PCM	845	6.00	0.58	12.000	27.399	90.417	16	14.466.67	13.18	31.69	44.87
2	COMPRESORAS NEUMATICAS	76 HP	125-175 PCM	1.515	6.00	0.58	12.000	27.400	90.420	17	15.371.40	13.11	41.38	54.49
3	COMPRESORAS NEUMATICAS	120 HP	PCM	1.800	6.00	0.58	12.000	38.900	128.370	17	21.822.90	18.60	58.18	76.78
4	COMPRESORAS NEUMATICAS	150 HP	PCM	3.500	6.00	0.58	12.000	61.000	201.300	17	34.221.00	29.18	72.65	101.83
5	COMPRESORAS NEUMATICAS	196 HP	PCM	5.000	6.00	0.58	12.000	47.000	155.100	17	26.367.00	22.47	82.34	104.81
6	COMPRESORAS NEUMATICAS	223 HP	PCM	4.688	6.00	0.58	12.000	68.500	226.050	17	38.428.50	32.77	97.44	130.21
7	COMPRESORAS NEUMATICAS	240 HP	700-800 PCM	6.500	6.00	0.58	12.000	72.500	239.250	17	40.672.50	34.69	104.36	139.05
8	MARTILLOS NEUMATICOS		KG	24	1.50	0.83	3.000	2.300	7.590	8	607.20	3.16	2.53	5.69
9	MARTILLOS NEUMATICOS		KG	29	1.50	0.83	3.000	2.500	8.250	8	680.00	3.42	2.75	6.17
10	MOTOPERFORADORA	1400RPM	185 CC	26	2.00	0.75	3.000	4.974	16.413	8	1.313.03	7.16	5.47	12.63
11	PERFORADORA SOBRE ORUGAS		660-690 PCM	6.000	6.00	0.58	12.000	145.000	478.500	25	119.625.00	66.22	51.29	117.51
EQUIPO PARA MOVIMIENTO DE TIERRA														
12	CARGADORES SOBRE ORUGA	110-135 HP	2.0-2.25 Yd3	16.275	6.00	0.58	12.000	196.250	647.625	25	161.906.25	89.63	104.84	194.47
13	CARGADORES SOBRE ORUGA	150-180 HP	2.5-2.75 Yd3	18.387	6.00	0.58	12.000	219.100	723.030	25	180.757.50	100.06	123.42	223.48
14	CARGADORES SOBRE ORUGA	190-225 HP	3.2-3.75 Yd3	25.173	6.00	0.58	12.000	346.229	1.142.556	25	285.638.93	158.12	168.79	326.91
15	CARGADORES SOBRE ORUGA	245 HP	4.0-6.0 Yd3	28.000	6.00	0.58	12.000	420.000	1.386.000	25	346.500.00	191.81	203.07	394.88
16	CARGADOR RETROEXCAVADOR	62 HP	1 Yd3	8.000	5.00	0.60	10.000	84.000	277.200	25	69.300.00	42.40	59.88	102.28
17	CARGADORES SOBRE LLANTAS	80-95 HP	1.5-1.75 Yd3	9.031	5.00	0.60	10.000	140.000	462.000	25	115.500.00	70.47	86.74	157.21
18	CARGADORES SOBRE LLANTAS	100-115 HP	2.0-2.35 Yd3	10.308	5.00	0.60	10.000	88.602	292.387	25	73.096.65	44.76	74.78	119.54
19	CARGADORES SOBRE LLANTAS	100-125 HP	2.50 Yd3	11.500	5.00	0.60	10.000	130.446	430.472	25	107.617.95	65.90	90.12	156.02
20	CARGADORES SOBRE LLANTAS	125-155 HP	3.0 Yd3	16.584	5.00	0.60	10.000	160.000	528.000	25	132.000.00	80.58	109.30	189.88
21	CARGADORES SOBRE LLANTAS	160-195 HP	3.5 Yd3	18.585	5.00	0.60	10.000	180.000	594.000	25	148.500.00	90.57	127.38	217.95
22	CARGADORES SOBRE LLANTAS	200-250 HP	4.0-4.1 Yd3	20.826	6.00	0.58	12.000	238.000	785.400	25	196.350.00	108.32	148.51	256.83
23	CARGADORES SOBRE LLANTAS	200-260 HP	4.6 Yd3	22.000	6.00	0.58	12.000	338.000	1.115.400	25	278.850.00	153.99	177.46	331.45
24	CARGADORES SOBRE LLANTAS	260-300 HP	5.0-5.50 Yd3	31.105	6.00	0.58	12.000	518.000	1.709.400	25	427.350.00	236.19	241.50	477.69
25	CARGADORES SOBRE LLANTAS	375 HP	8.0 Yd3	49.738	6.00	0.58	12.000	542.338	1.789.715	25	447.428.85	247.30	275.19	522.49
26	RETROEXC SOBRE LLANTAS	58 HP	1 Yd3	9.000	5.00	0.60	10.000	84.000	277.200	25	69.300.00	42.38	58.78	101.16
27	RETROEXC SOBRE ORUGAS	80-110 HP	0.50-1.3 Yd3	17.300	5.00	0.60	10.000	131.080	432.564	25	108.141.00	66.21	84.90	151.11
28	RETROEXC SOBRE ORUGAS	115-165 HP	0.75-1.60 Yd3	23.400	5.00	0.60	10.000	199.000	656.700	25	164.175.00	100.52	121.31	221.83
29	RETROEXC SOBRE ORUGAS	170-250 HP	1.10-2.75 Yd3	33.800	5.00	0.60	10.000	338.000	1.115.400	25	278.850.00	170.73	188.43	359.16
30	RETROEXC SOBRE ORUGAS	325 HP	2.0-3.8 Yd3	61.600	5.00	0.60	10.000	475.000	1.567.500	25	391.875.00	239.92	266.55	506.47
31	TRACTORES SOBRE ORUGAS	60-70 HP		6.711	5.00	0.60	10.000	121.000	399.300	25	99.825.00	61.12	72.84	133.96

JUNIO 2007

N°	EQUIPO	POTENCIA	CAPACIDAD	PESO (KG)	Vida Útil Años	VPI (n+1)/2n	Vida Útil Horas	VALOR ADQUISICION		VALOR RESIDUAL		COSTO DE POSESION	COSTO DE OPERACION	COSTO HORARIO
								US \$	S/.	%	S/.	TOTAL (A)	TOTAL (B)	(A+B)
32	TRACTORES SOBRE ORUGAS	75-100 HP		9 090	5 00	0.60	10 000	138 000	455 400	25	113 850 00	69 71	85 14	154 85
33	TRACTORES SOBRE ORUGAS	105-135 HP		12 300	5 00	0.60	10 000	266 000	877 800	25	219 450 00	134 36	137 60	271 96
34	TRACTORES SOBRE ORUGAS	140-160 HP		14 900	5 00	0.60	10 000	338 000	1 115 400	25	278 850 00	170 73	170 17	340 90
35	TRACTORES SOBRE ORUGAS	190-240 HP		20 520	6 00	0.58	12 000	420 000	1 386 000	25	346 500 00	191 81	193 93	385 74
36	TRACTORES SOBRE ORUGAS	270-295 HP		21 863	7 50	0.57	15 000	587 000	1 937 100	25	484 275 00	239 67	226 48	466 15
37	TRACTORES SOBRE ORUGAS	335-410 HP		37 170	7 50	0.57	15 000	737 189	2 432 724	25	608 180 93	300 99	286 51	587 50
38	TRACTORES SOBRE ORUGAS	650 HP		70 320	7 50	0.57	15 000	1 251 205	4 128 977	25	1 032 244 13	510 85	438 24	949 09
39	TRACTORES SOBRE LLANTAS	200-250 HP		20 500	5 00	0.60	10 000	375 000	1 237 500	25	309 375 00	188 96	206 65	395 61
40	TRACTORES SOBRE LLANTAS	300-350 HP		30 380	5 00	0.60	10 000	586 000	1 933 800	25	483 450 00	295 08	306 57	601 65
41	TRACTORES SOBRE LLANTAS	400-500 HP		46 355	5 00	0.60	10 000	911 288	3 007 250	25	751 812 60	459 30	452 85	912 15
EQUIPO DE COMPACTACION														
42	VIBRADOR DE CONCRETO	4 HP	1.25 Pg		2 00	0.75	4 000	1 700	5 610	8	448 80	1 84	1 48	3 32
43	VIBRADOR DE CONCRETO	4 HP	1.50 Pg		2 00	0.75	4 000	1 750	5 775	8	462 00	1 89	1 52	3 41
44	VIBRADOR DE CONCRETO	4 HP	2.40 Pg		2 00	0.75	4 000	1 850	6 105	8	488 40	1 99	1 61	3 60
45	COMPACTADOR VIB. TIPO PLANCHA	4 HP		95	2 00	0.75	4 000	2 100	6 930	8	554 40	2 27	11 51	13 78
46	COMPACTADOR VIB. TIPO PLANCHA	5.8 HP		145	2 00	0.75	4 000	2 200	7 260	8	580 80	2 38	11 60	13 98
47	ROD. LISO VIBRAT. MANUAL	10.8 HP	0.8 - 1.1 Tn	800	5 00	0.60	10 000	14 500	47 850	25	11 962 50	7 33	14 57	21 90
48	RODILLO V.B. LISO AUTOPROPULSADO	101-135 HP	10-12 Tn	11 100	5 00	0.60	10 000	113 000	372 900	25	93 225 00	56 77	85 84	142 61
49	RODILLO V.B. LISO AUTOPROPULSADO	136-170 HP	15-17 Tn	13 700	5 00	0.60	10 000	150 000	495 000	25	123 750 00	75 46	108 24	183 70
50	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO	81-100 HP	5.5-20 Tn	5 500	6 00	0.58	12 000	150 000	495 000	25	123 750 00	68 43	81 74	150 17
51	PATA DE CABRA V.B. AUTO	100-135 HP	11-13 Tn	11 300	6 00	0.58	12 000	133 000	438 900	25	109 725 00	60 50	86 05	146 55
52	PATA DE CABRA V.B. AUTO	136-180 HP	15-17 Tn	15 300	6 00	0.58	12 000	185 000	610 500	25	152 625 00	84 24	112 40	196 64
EQUIPOS PARA OBRA DE CONCRETO														
53	DOSIFICADORA CONCRETO	M.E. 40	50M3/hr	17 000	10 00	0.55	20 000	96 200	317 460	25	79 365 00	34 62	27 60	62 22
54	DOSIFICADORA CONCRETO	M.E. 45	50-90M3/hr	20 000	10 00	0.55	20 000	148 400	489 720	25	122 430 00	53 40	36 22	89 62
EQUIPOS PARA REFINE Y AFIRMADO														
55	MOTONIVELADORA	125 HP		11 515	7 50	0.57	15 000	201 000	663 300	25	165 825 00	81 99	96 15	178 14
56	MOTONIVELADORA	130-135 HP		12 365	7 50	0.57	15 000	216 000	712 800	25	178 200 00	88 12	101 78	189 90
57	MOTONIVELADORA	145-150 HP		13 540	7 50	0.57	15 000	262 000	864 600	25	216 150 00	106 90	116 25	223 15
58	MOTONIVELADORA	180-200 HP		18 370	7 50	0.57	15 000	281 000	927 300	25	231 825 00	114 54	132 92	247 46
VEHICULOS														
59	4X4 PICK-UP CABINA SIMPLE	148 HP	3 Pasajeros	2 740	4 00	0.63	8 000	19 916	65 723	25	16 430 67	11 48	66 49	77 97
60	4X2 PICK-UP CABINA SIMPLE	84 HP	5 Pasajeros		4 00	0.63	8 000	15 630	51 580	25	12 894 96	8 99	45 29	54 28
61	4X2 PICK-UP DOBLE CABINA	84 HP	5 Pasajeros		4 00	0.63	8 000	16 891	55 739	25	13 934 87	9 72	45 81	55 53
62	CAMION IMPR. MADOR	210 HP	2000 grn	13 500	6 00	0.58	12 000	75 281	248 428	25	62 107 09	34 36	97 84	132 20
63	SEMI-TRAYLER 6X4	330 HP	35 Tn	42 600	6 00	0.58	12 000	94 000	310 200	25	77 550 00	42 87	139 10	181 97
64	SEMI-TRAYLER 6X4	330 HP	40 Tn	54 420	6 00	0.58	12 000	94 000	310 200	25	77 550 00	42 85	139 19	182 04
65	VOLQUETE 6X4	330 HP	10 M3	26 000	6 00	0.58	12 000	82 000	270 600	25	67 650 00	37 34	135 99	173 33
66	VOLQUETE 6X4	330 HP	15 M3	26 000	6 00	0.58	12 000	105 000	346 500	25	86 625 00	47 86	142 32	190 18

JUNIO 2007

N°	EQUIPO	POTENCIA	CAPACIDAD	PESO (KG)	Vida Útil Años	VPI (n+1)/2n	Vida Útil Horas	VALOR ADQUISICION		VALOR RESIDUAL		COSTO DE POSESION	COSTO DE OPERACION	COSTO HORARIO
								US \$	S/.	%	S/.	TOTAL (A)	TOTAL (B)	(A+B)
EQUIPO DIVERSO														
67	GRUPO ELECTROGENO	380 HP	250 Kw	2.700	6.00	0.58	12.000	41.000	135.300	25	33.825.00	18.73	126.31	145.04
68	GRUPO ELECTROGENO	480 HP	300 Kw	3.500	6.00	0.58	12.000	43.000	141.900	25	35.475.00	19.64	156.75	176.39
69	MONTACARGAS	68 HP	3.000 Kjs	5.200	5.00	0.60	10.000	30.440	100.452	25	25.113.00	15.35	41.00	56.35
70	MONTACARGAS	80 HP	5.000 Kjs	8.150	5.00	0.60	10.000	50.000	165.000	25	41.250.00	25.23	50.95	76.18
71	MONTACARGAS	94 HP	7.500 Kjs	9.150	5.00	0.60	10.000	68.000	224.400	25	56.100.00	34.32	60.96	95.28
EQUIPOS KOMATSU														
72	TRACTOR SOBRE ORUGAS	155 HP	3.4		5.00	0.60	10.000	225.301	743.493	25	185.873.33	113.80	134.43	248.23
73	TRACTOR SOBRE ORUGAS	190 HP	3.8		5.00	0.60	12.000	294.299	971.187	25	242.796.68	123.87	151.19	275.06
74	TRACTOR SOBRE ORUGAS	310 HP	8.8		5.00	0.60	15.000	513.483	1.694.494	25	423.623.48	172.90	219.85	392.75
75	MOTONIVELADORA	135 HP			7.50	0.57	15.000	156.004	514.813	25	128.703.30	63.63	89.17	152.80
76	MOTONIVELADORA	160 HP			7.50	0.57	15.000	202.233	667.369	25	166.842.23	82.50	106.60	189.10
77	MOTONIVELADORA	190 HP			7.50	0.57	15.000	221.909	732.300	25	183.074.93	90.42	119.92	210.34
78	MOTONIVELADORA	200 HP			7.50	0.57	15.000	257.091	848.400	25	212.100.08	104.78	130.58	235.36
79	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	168 HP	1.2		5.00	0.60	10.000	261.569	863.178	25	215.794.43	132.12	150.18	282.30
80	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	242 HP	1.8		5.00	0.60	10.000	310.926	1.026.056	25	256.513.95	157.05	188.31	345.36
81	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	330 HP	2.5		5.00	0.60	10.000	416.429	1.374.216	25	343.553.93	210.34	250.12	460.46
82	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	385 HP	3.5		5.00	0.60	10.000	578.164	1.907.941	25	476.985.30	292.04	318.05	610.09
83	MINICARGADOR	70 HP	0.5		6.00	0.58	12.000	56.217	185.516	25	46.379.03	25.65	50.08	75.73
84	CARGADORES SOBRE LLANTAS	187 HP	3.5		6.00	0.58	10.000	217.773	718.651	25	179.662.73	118.89	142.90	261.79
85	CARGADORES SOBRE LLANTAS	261 HP	4.0		6.00	0.58	12.000	300.065	990.215	25	247.553.63	136.66	175.77	312.43
86	RETROEXCAVADORA	87 HP	1.0		5.00	0.60	10.000	93.587	308.837	25	77.209.28	47.27	70.20	117.47
87	RODILLO LISO	150 HP	10 TN		5.00	0.60	10.000	115.623	381.556	25	95.388.98	58.41	96.23	154.64
88	RODILLO PATA DE CABRA	150 HP	10TN		6.00	0.58	12.000	133.128	439.322	25	109.830.60	60.56	95.41	155.97
EQUIPOS PRODUCTORES DE AGREGADOS														
89	CHANCADORA PRIMARIA 15x24"	M.E. 30	46-70 Tn.Hr.	19.000.00	10.00	0.55	20.000	119.487	394.308	25	98.577.00	43.00	34.61	77.61
90	CHANCADORA PRIMARIA 30x42"	M.E. 150		21.000.00	10.00	0.55	20.000	551.682	1.820.550	25	455.137.62	198.54	104.92	303.46
91	CHANCADORA SECUNDARIA 24"S	M.E. 30	46-70 Tn.Hr.	22.000.00	10.00	0.55	20.000	197.874	652.983	25	163.245.75	71.20	47.55	118.75
92	CHANCADORA SECUNDARIA 36"S	M.E. 75	46-70 Tn.Hr.	23.000.00	10.00	0.55	20.000	220.871	728.875	25	182.218.75	79.48	51.34	130.82
93	CHANCADORA SECUNDARIA C-CONO 4 1/4"	M.E. 200			10.00	0.55	20.000	289.608	955.707	25	238.926.87	104.22	61.68	165.90
94	CHANCADORA CONICA + ZARANDA	200 HP			10.00	0.55	20.000	629.364	2.076.900	25	519.224.90	226.50	117.73	344.23
EQUIPOS PARA PAVIMENTACION														
96	COCINA DE ASFALTO		320 Gm	2.100.00	5.00	0.60	10.000	3.814	12.586	25	3.146.50	1.91	38.68	40.59
97	PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE		150 Tn.Hr.	46.800.00	10.00	0.55	20.000	752.307	2.482.612	25	620.652.90	270.74	1.213.61	1.484.35
98	PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE (OFALL)		285 Tn.Hr.	12.000.00	10.00	0.55	20.000	1.270.783	1.288.483	25	1.058.670.82	458.41	1.868.84	2.118.75
99	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS	105 HP	10	12.000.00	10.00	0.55	20.000	232.756	768.096	25	192.023.94	83.76	82.97	166.73
100	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS	224 HP	10	12.000.00	10.00	0.55	20.000	172.000	1.557.000	25	308.400.00	168.87	158.58	328.87
101	RECICLADORA EN FRIJO	396 HP	295 KW	22.900.00	7.50	0.57	10.000	735.441	2.426.955	25	606.738.82	450.40	365.46	815.86
102	FRESADORA	565 HP	421 KW	30.000.00	7.50	0.57	10.000	884.265	2.918.075	25	729.518.70	541.55	460.88	1.002.43

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

La Tabla 5.10 muestra el costo horario y costo total por concepto de alquiler de maquinaria y equipo en dólares americanos al cambio de S/. 3.30/dólar.

MAQUINARIA Y EQUIPOS	N°	POTENCIA HP	CAPACIDAD	CANTIDAD hh	PRECIO UNITARIO \$ US	PARCIAL \$ US
TRACTOR DE ORUGAS	01	155	3.4 M ³	440.00	75.22	33,096.80
CARGADOR RETROEXCAVADORA	01	58	1 YD ³	220.00	30.65	6,743.00
RODILLO VIBRATORIO	01	101-135	10-12 TN	110.00	43.22	4,754.20
MOTOSOLDADORA	01	44		110.00	13.60	1,496.00
GRÚA	02	330	20 TN	130.00	55.14	7,168.20
TOTAL \$ US						53,258.20

Tabla 5.10 Costo total del maquinaria y equipo a utilizar en el montaje

e.- Cálculo del costo de materiales para montaje

Los materiales consumibles que se utilizarán en el proceso del montaje de la planta de asfalto son básicamente los siguientes:

- Soldaduras.
- Gases.
- Pernera.
- Soportes y refuerzos de acero.
- Concreto premezclado para bases de cimentación.
- Ducteria.
- Material electromecánico.

La Tabla 5.11 muestra el costo total por concepto de materiales para el montaje.

DESCRIPCIÓN DEL COSTO	COSTO DE ADQUISICIÓN DE LA PLANTA DE ASFALTO \$ US	PORCENTAJE ESTIMADO %	TOTAL \$ US
MATERIALES PARA MONTAJE	1'525,525.00	3	45,765.75

Tabla 5.11 Costo total de materiales para montaje

f.- Cálculo del costo de planos as-built

La Tabla 5.12 muestra el costo total por concepto de Planos As-Built.

DESCRIPCIÓN DEL COSTO	COSTO DE ADQUISICIÓN DE LA PLANTA DE ASFALTO \$ US	PORCENTAJE ESTIMADO %	TOTAL \$ US
PLANOS AS-BUILT	1'525,525.00	0.8	12,204.20

Tabla 5.12 Costo total por concepto de planos as-built

g.- Cálculo del costo de supervisión, control y monitoreo

La Tabla 5.13 muestra el costo total por concepto de supervisión, control y monitoreo del proceso de montaje.

DESCRIPCIÓN DEL COSTO	COSTO DE ADQUISICIÓN DE LA PLANTA DE ASFALTO \$ US	PORCENTAJE ESTIMADO %	TOTAL \$ US
SUPERVISIÓN, CONTROL Y MONITOREO	1'525,525.00	1.5	22,882.88

Tabla 5.13 Costo total por supervisión, control y monitoreo

h.- Cálculo del costo de aseguramiento de la calidad

La Tabla 5.14 muestra el costo total por concepto de aseguramiento de la calidad del proceso de montaje de la planta de asfalto.

DESCRIPCIÓN DEL COSTO	COSTO DE ADQUISICIÓN DE LA PLANTA DE ASFALTO \$ US	PORCENTAJE ESTIMADO %	TOTAL \$ US
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	1'525,525.00	0.5	7,627.63

Tabla 5.14 Costo total por aseguramiento de la calidad

RESUMEN DEL COSTO TOTAL DEL MONTAJE DE LA PLANTA DE ASFALTO

El costo total por concepto del montaje de la planta de asfalto en caliente se muestra en la Tabla 5.15.

DESCRIPCIÓN DEL COSTO	MONTO \$US
PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL MONTAJE	15,255.25
PERSONAL TÉCNICO	7,156.80
PERSONAL ESPECIALIZADO	26,400.00
MAQUINARIA Y EQUIPOS	53,258.20
MATERIALES PARA MONTAJE	45,765.75
PLANOS AS-BUILT	12,204.20
SUPERVISIÓN, CONTROL Y MONITOREO	22,882.88
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	7,627.63
TOTAL \$ US	190,550.71

Tabla 5.15 Costo total del montaje de la planta de asfalto

5.1.3 Costos de puesta en marcha de la planta de asfalto

Para calcular el costo de la Puesta en Marcha de la Planta de Asfalto consideramos los siguientes rubros:

a.- Cálculo del costo de pruebas en vacío y en caliente (con carga) de equipos e instalaciones

Para obtener el costo de las pruebas en vacío y en caliente (con carga) de los equipos e instalaciones, no existe normativa en el Perú para realizar los cálculos, tampoco hay referencias de costos unitarios para pruebas de partes o componentes de plantas de asfalto.

Sin embargo se presenta en la Tabla 5.16 los costos estimados obtenidos por cotizaciones en trabajos similares y por experiencia propia.

DESCRIPCIÓN DEL COSTO	COSTO ESTIMADO \$ US
PRUEBAS DE ALINEAMIENTO, NIVELACION, MONTAJE, TOLERANCIAS, FUGAS, ACOPLER DE LOS SIGUIENTES COMPONENTES DE LA PLANTA:	
• CIMENTACIONES	300.00
• TOLVAS EN FRIO	450.00
• TAMBOR DOUBLE BARREL	1,500.00
• FAJAS DE AGREGADOS Y MEZCLA EN CALIENTE	450.00
• FILTRO DE MANGAS O BAGHOUSE	750.00
• CICLON	450.00
• TOLVAS DEL RAP	300.00
• TOLVA PARA FILLER	450.00
• CASETA DE CONTROL	450.00
• TOLVA DE MEZCLA EN CALIENTE	600.00
PRUEBAS HIDRAULICAS DE TUBERIAS DE ASFALTO Y COMBUSTIBLE	680.00
PRUEBAS DE RESISTIVIDAD, CONDUCTIVIDAD Y POZO DE TIERRA	1,050.00
CALIBRACION DE LA PLANTA DE ASFALTO	600.00
PRUEBAS A LOS SOFTWARES INSTALADOS	780.00
TOTAL \$ US	8,810.00

Tabla 5.16 Costo de pruebas en vacío y en caliente de equipos e instalaciones

b.- Cálculo de los costos de calidad del producto final

Los costos de calidad del producto final conciernen a los ensayos a realizar en laboratorio de la mezcla asfáltica tal como lo muestra la Tabla 5.17. Los principales aspectos considerados en los respectivos ensayos son:

- Estabilidad Marshall.
- Densidad de briqueta de mezcla asfáltica.
- Diseño de mezcla asfáltica en caliente SMA Y Superpave.
- Adherencia en agregado grueso.

Asimismo las tarifas de los ensayos corresponden a las establecidas por el Laboratorio de Materiales del SENCICO al mes de diciembre del 2007.

NORMA ASTM	ENSAYOS EN MEZCLA ASFÁLTICA	PRECIO UNITARIO \$ US	CANTIDAD	PARCIAL \$ US
D2172	Lavado asfáltico (incluye tricloroetileno)	60.61	10	606.10
D1559	Estabilidad Marshall (Incluye: elaboración de briqueta, estabilidad, flujo, % de vacíos) (costo por briqueta)	57.58	10	575.80
D2726	Densidad de briqueta de mezcla asfáltica	13.64	10	136.40
D2041	Densidad máxima teórica (Rice)	24.24	10	242.40
---	Porcentaje de vacíos (incluye: densidad de espécimen y densidad máxima teórica (Rice)) (costo por briqueta)	37.88	10	378.80
D1559	Diseño de mezcla asfáltica en caliente SMA Y SUPERPAVE	242.42	02	484.84
D1559	Elaboración de briquetas (juego de 3)	22.73	06	136.38
MTC E220	Adherencia en agregado fino (Riedel y Weber)	36.36	10	363.60
D3625 (MTC E521)	Adherencia en agregado grueso (Revestimiento y desprendimiento)	36.36	10	363.60
TOTAL \$ US				3,287.92

Tabla 5.17 Costo de calidad del producto final

c.- Cálculo de los costos de agregados y cemento asfáltico

Para realizar el cálculo del Costo de los Agregados y Cemento Asfáltico, se debe primero seleccionar el tipo de agregados a utilizar en la mezcla.

En nuestro caso se propone el diseño de mezcla bajo el sistema Superpave y SMA, los agregados recomendados deben cumplir con la granulometría indicados en la Figura 5.2.

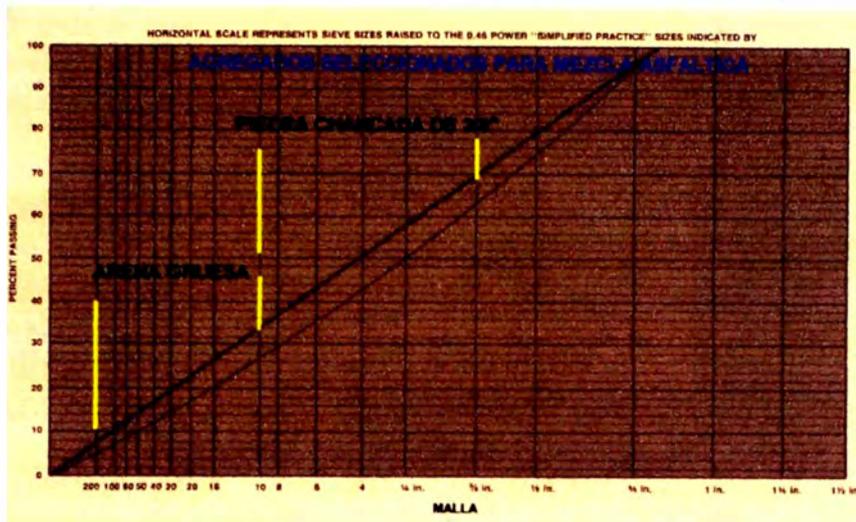


Figura 5.2 Curva para seleccionar tamaño de agregados

Los agregados seleccionados son:

- Piedra chancada de 3/8”.
- Arena gruesa.

A continuación se debe calcular la cantidad de agregados y cemento asfáltico por tonelada de mezcla a producir para la puesta en marcha de la planta de asfalto. La dosificación a utilizar para el Superpave se muestra en la Tabla 5.18.

DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO Y CEMENTO ASFÁLTICO	DOSIFICACIÓN %
PIEDRA CHANCADA DE 3/8”	50
ARENA GRUESA	40
CEMENTO ASFALTICO 85/100	5.5
FILLER CAL HIDRATADA PARA ASFALTO	4.5
TOTAL	100

Tabla 5.18 Dosificación de agregados cemento asfáltico y filler

Finalmente se debe calcular el costo por concepto de agregados, cemento asfáltico y filler para producir una tonelada de mezcla asfáltica en caliente con el diseño de Superpave, se ha considerado los pesos específicos de los materiales de la Tabla 5.19 para determinar la cantidad con el porcentaje de la dosificación correspondiente.

MATERIAL	PESO ESPECÍFICO	% DE HUMEDAD
PIEDRA CHANCADA DE 3/8”	1,650 Kg/m ³	5
ARENA GRUESA	1,450 Kg/m ³	5
CEMENTO ASFALTICO 85/100	1,300 Kg/m ³	
FILLER CAL HIDRATADA PARA ASFALTO	900 Kg/m ³	

Tabla 5.19 Pesos específicos de materiales

Es importante indicar que en el momento de la puesta en marcha de la planta de asfalto todavía no se va a utilizar RAP. Este aspecto se estudiará en los costos de operación. La Tabla 5.20 muestra la indicada estructura de costos.

DESCRIPCIÓN DE AGREGADOS Y MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$ US	PARCIAL \$ US
PIEDRA CHANCADA DE 3/8"	M ³	0.2424	10.20	2.47
ARENA GRUESA	M ³	0.3445	10.50	3.62
CEMENTO ASFALTICO 85/100	GLN	11.1744	1.20	13.41
FILLER CAL HIDRATADA PARA ASFALTO	KG	2.1261	0.24	0.51
TOTAL \$ US				20.01

Tabla 5.20 Costo de materiales

d.- Cálculo del costo del combustible

Para determinar los costos por concepto de combustible se utilizará la Figura 5.3.



Figura 5.3 Consumo de combustible por tonelada de mezcla producida

De la indicada Figura 5.3 se tiene que para el porcentaje del 5 % de humedad de agregados con el diámetro de tambor mezclador Double Barrel de 1.8 m produce 186 tn/h y el consumo de combustible es de 7.1 lit/tn. La Tabla 5.21 muestra el costo por concepto de combustible para producir 1 tonelada de mezcla asfáltica.

COMBUSTIBLE	UNID	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$ US	TOTAL \$ US
DIESEL N° 6 PETROLEO INDUSTRIAL	Lit	7.1	0.98	6.96

Tabla 5.21 Costo de combustible

La Tabla 5.22 muestra el costo por tonelada producida considerando agregados, materiales y combustible.

DESCRIPCIÓN	PARCIAL \$ US
AGREGADOS Y MATERIALES	20.01
COMBUSTIBLE	6.96
TOTAL \$ US	26.97

Tabla 5.22 Costo de mezcla asfáltica por tonelada producida

Seguidamente se debe calcular la cantidad de mezcla asfáltica producida en un (01) mes de puesta en marcha la planta de asfalto tal como lo muestra la Tabla 5.23.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
TRABAJO POR MES	DÍAS	22
TRABAJO POR DÍA	HORAS	08
CANTIDAD DE MEZCLA ASFALTICA PRODUCIDA POR HORA	TN/H	186
CANTIDAD DE MEZCLA PRODUCIDA EN UN MES	TN	32,736

Tabla 5.23 Cantidad de mezcla asfáltica producida mensualmente

Por tanto estamos en condiciones de obtener el costo de mezcla asfáltica producida en un mes de trabajo de la puesta en marcha de la planta como lo muestra la Tabla 5.24.

DESCRIPCIÓN DEL COSTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$ US	TOTAL \$ US
MEZCLA ASFALTICA PRODUCIDA EN UN MES	TN	32,736	26.97	882,889.92

Tabla 5.24 Costo de la mezcla asfáltica producida mensualmente

e.- Cálculo de los costos del personal de pruebas

La Tabla 5.25 indica los costos del personal de pruebas durante el proceso de puesta en marcha de la planta de asfalto, el cálculo corresponde a un (01) mes de trabajo.

DESCRIPCIÓN DEL PERSONAL	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$ US	PARCIAL \$ US
OPERADOR DE PLANTA	MES	02	900.00	1,800.00
VERIFICADOR Y DESPACHADOR	MES	01	600.00	600.00
ADMINISTRADOR	MES	01	800.00	800.00
INGENIERO RESPONSABLE DEL CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL	MES	01	1,400.00	1,400.00
TOTAL \$ US				4,600.00

Tabla 5.25 Costos del personal de pruebas

f.- Cálculo del costo de monitoreo y control de la puesta en marcha de la planta de asfalto

El costo por concepto del monitoreo y control de la puesta en marcha de la planta de asfalto en caliente se muestra en la Tabla 5.26.

DESCRIPCIÓN DEL COSTO	COSTO DE ADQUISICIÓN DE LA PLANTA DE ASFALTO \$ US	PORCENTAJE ESTIMADO %	TOTAL \$ US
MONITOREO Y CONTROL DE LA PUESTA EN MARCHA	1'525,525.00	1	15,255.25

Tabla 5.26 Costo de monitoreo y control de la puesta en marcha de la planta de asfalto

g.- Cálculo del costo de capacitación a los operadores de la planta de asfalto

El costo por concepto del capacitación a los operadores de la planta de asfalto en caliente se muestra en la Tabla 5.27.

DESCRIPCIÓN DEL COSTO	NÚMERO DE OPERADORES	TIEMPO DE CAPACITACIÓN	PRECIO UNITARIO \$ US	COSTO ESTIMADO \$ US
CAPACITACIÓN EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO A OPERADORES	03	1 MES	1,500.00	4,500.00

Tabla 5.27 Costo de capacitación en operación y mantenimiento a los operadores

RESUMEN DEL COSTO TOTAL POR PUESTA EN MARCHA

El costo total por concepto de la puesta en marcha de la planta de asfalto en caliente se muestra en la Tabla 5.28.

DESCRIPCIÓN DEL COSTO	PARCIAL \$ US
PRUEBAS EN VACIO Y EN CALIENTE (CON CARGA) DE EQUIPOS E INSTALACIONES	8,810.00
CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL	3,287.92
MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA	882,889.92
PERSONAL DE PRUEBAS	4,600.00
MONITOREO Y CONTROL DE LA PUESTA EN MARCHA	15,255.25
CAPACITACIÓN A LOS OPERADORES DE LA PLANTA DE ASFALTO	4,500.00
TOTAL \$ US	919,343.09

Tabla 5.28 Costo total de puesta en marcha de la planta de asfalto

RESUMEN DEL COSTO DE TOTAL DE LA INVERSIÓN

Por tanto el costo total de la inversión de la planta de asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 200 se muestra en la Tabla 5.29.

DESCRIPCIÓN	PARCIAL \$ US
COSTOS DE COMPONENTES Y COSTO TOTAL DE ADQUISICIÓN REFERENCIAL DE LA PLANTA DE ASFALTO TURBO DOUBLE BARREL MODELO PDB 200 DE ASTEC.	1'525,525.00
COSTO TOTAL DEL MONTAJE DE LA PLANTA DE ASFALTO.	190,550.71
COSTO TOTAL DE PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE ASFALTO.	919,343.09
TOTAL \$ US	2'635,418.80

Tabla 5.29 Costo total de la inversión de la planta de asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 200

5.2 Costo de operación

La estructura de los principales rubros que intervienen en el costo de operación de la planta de asfalto se indica en la Figura 5.4.

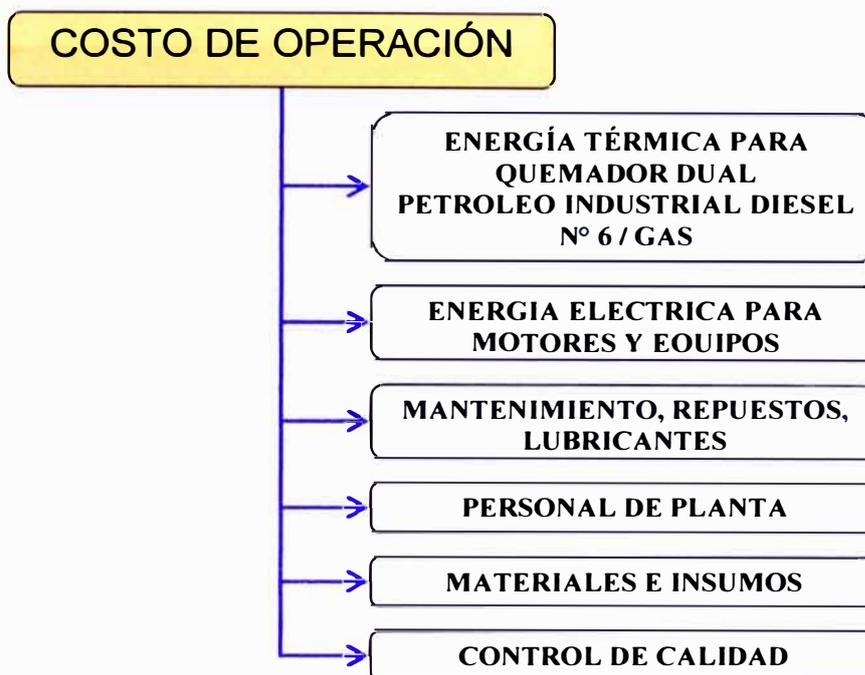


Figura 5.4 Estructura del costo de operación

Asimismo el costo de operación de una planta de asfalto puede ser dividido en 10 categorías las cuales se indica en la Tabla 5.30.

N°	CATEGORÍA
1	DEPRECIACIÓN
2	MANTENIMIENTO
3	TRABAJO U OPERACIÓN DE LA PLANTA
4	SECADO DE AGREGADOS
5	CALENTAMIENTO DEL CEMENTO ASFÁLTICO
6	ENERGÍA ELÉCTRICA
7	PÉRDIDAS O MERMAS DEL MATERIAL
8	CARGUÍO DE LA MEZCLA
9	AGREGADOS
10	CEMENTO ASFÁLTICO

Tabla 5.30 Categorías del costo de operación de la planta de asfalto

Las primeras 8 categorías representan el costo de procesamiento en una planta de asfalto. Según el Technical Paper T-126 elaborado por PhD J. Don Brock y P:E John Milstead indican que en los E.U.A los mejores indicadores del costo de procesamiento arrojan aproximadamente el valor de \$ US 4.50 / tn para todas las plantas ubicadas en el territorio americano.

Estos resultados han sido calculados sobre la base de una producción promedio de 150,000 tn/ año, 5% de humedad de agregados, 3 operadores de planta y \$ US 0.60/galón de combustible. La Figura 5.5 muestra el costo de procesamiento de una planta con tambor mezclador y una batch plant. Aunque estos valores pueden variar considerablemente dependiendo de la humedad del agregado, costo de la energía, etc.

	DRUM	BATCH
DEPRECIATION	\$ 0.80	\$ 1.00
MAINTENANCE	0.52	0.62
LABOR	0.57	0.57
DRYING	1.11	1.11
ASPHALT HEATING	0.30	0.30
ELECTRIC POWER	0.15	0.20
MATERIAL LOSS	0.25	0.25
LOADER	<u>0.45</u>	<u>0.45</u>
PROCESSING COST	<u>\$ 4.15</u>	<u>\$ 4.50</u>

BASED ON 150,000 TONS/YEAR; 5% MOISTURE; 60 cents/GALLON FUEL; 3 MEN

PLANT PROCESSING COST

Figura 5.5 Costo de procesamiento de una planta con tambor y batch plant para una producción de 150,000 tn/año, 5% de humedad de agregados y \$ US 0.60/galón de combustible y 3 operadores

El costo de las mezclas producidas por una planta de asfalto con tambor mezclador es ligeramente menor que las mezclas producida en las batch plants, esto se debe a que las plantas con tambor mezclador utiliza menor energía, además tienen menor cantidad de partes y componentes que requieren mantenimiento.

La Figura 5.6 muestra el costo de procesamiento en una batch plant con una producción de 30,000 tn/ año, 5% de humedad de agregados, 3 operadores de planta y 0.60/galón de combustible. El costo se incrementa sustancialmente cuando el volumen de producción disminuye drásticamente a niveles de 30,000 tn/año. Debido a la baja producción los costos unitarios son mucho más elevados que los previstos. Consecuentemente en estas circunstancias es difícil competir con plantas con altos volúmenes de producción.

DEPRECIATION	\$ 1.00
MAINTENANCE	1.50
LABOR	2.10
DRYING	1.50
ASPHALT HEATING	0.52
ELECTRIC POWER	1.00
MATERIAL LOSS	0.25
LOADER	<u>0.45</u>
PROCESSING COST	<u>\$ 8.32</u>

BASED ON 30,000 TONS/YEAR; 5% MOISTURE; 60 cents/GALLON FUEL; 3 MEN

BATCH PLANT PROCESSING COST

Figura 5.6 Costo de procesamiento de una planta con tambor y batch plant para una producción de 30,000 tn/año, 5% de humedad de agregados y \$ US 0.60/galón de combustible y 3 operadores

La Figura 5.7 muestra el costo de procesamiento en una planta con tambor con una producción de 500,000 tn/ año, 5% de humedad de agregados, 3 operadores de planta y \$ US 0.60/galón de combustible. Se asume que el costo del agregado es \$ US 5.00/tn y el costo del asfalto es de \$ US 120.00/tn.

DEPRECIATION	\$ 0.40
MAINTENANCE	0.20
LABOR	0.20
DRYING	0.70
ASPHALT HEATING	0.07
ELECTRIC POWER	0.10
MATERIAL LOSS	0.03
LOADER	0.20
PROCESSING COST	\$ 1.90
BASED ON 500,000 TONS/YEAR, 5% MOISTURE, 60 cents/GALLON FUEL, 3 MEN	
DRUM PLANT PROCESSING COST	

Figura 5.7 Costo de procesamiento de una planta con tambor para una producción de 500,000 tn/año, 5% de humedad de agregados y \$ US 0.60/galón de combustible y 3 operadores

La Figura 5.8 muestra el costo de procesamiento en una planta con tambor con una producción de 500,000 tn/ año, 5% de humedad de agregados, 3 operadores de planta y \$ US 0.60/galón de combustible y usando agregados vírgenes y RAP en 30%. El costo en peso del producto reciclado es \$ US 3/tn. Es obvio el impacto que se tiene en la estructura de costos cuando se utilizan volúmenes de RAP en el procesamiento de producción de la mezcla asfáltica.

	VIRGIN MIX	w/30% RECYCLE
DEPRECIATION	\$ 0.40	\$ 0.40
MAINTENANCE	0.20	0.20
LABOR	0.20	0.20
DRYING	0.70	0.70
ASPHALT HEATING	0.07	0.07
ELECTRIC POWER	0.10	0.10
MATERIAL LOSS	0.03	0.03
LOADER	0.20	0.20
AGGREGATE (\$5.00)	(0.945) 4.73	(0.945) (0.7) 3.31
ASPHALT (\$120.00)	(0.055) 6.60	(0.055) (0.7) 4.62
RECYCLE (\$3.00)	0.00	(0.3) 0.90
TOTAL PLANT COST	\$ 13.23	\$ 10.73
BASED ON 500,000 TONS/YEAR, 5% MOISTURE, 60 cents/GALLON FUEL, 3 MEN		
TOTAL PLANT COST		

Figura 5.8 Costo total de procesamiento de una planta con tambor

En consecuencia de lo expuesto podemos concluir que el costo total de operación de la planta de asfalto seleccionada técnicamente la Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 200 es de \$US 13.23 /tn sin utilizar RAP y utilizando el 30 % de RAP el costo es de \$US 10.73 es decir un ahorro del 23.30 % por tonelada de mezcla asfáltica producida.

5.3 Costo de mantenimiento

Son los costos originados por todas las asignaciones presupuestales necesarias para conservar la planta de asfalto en buenas condiciones, a efecto de que trabaje eficientemente durante su vida económica.

El costo de mantenimiento de la planta de asfalto incluye los costos de los componentes y operación. La mejor forma de reducir los costos de mantenimiento es estableciendo un programa de mantenimiento preventivo el cual debe considerar la reducción de los tiempos muerto por paralizaciones y mejorar la vida de los componentes o partes de la planta. Por encima de los 10 años de trabajo la atención exhaustiva del programa de mantenimiento preventivo y de cada uno de los ítems vale la pena para reducir los costos de mantenimiento correctivo.

Las modernas plantas con tambor mezclador de contraflujo Double Barrel de ASTEC de la Foto 5.9, están diseñadas para reducir significativamente los costos de mantenimiento. Esto se ha logrado por la instalación del ciclón colector primario delante del baghouse. Como resultado los filtros y mangas tiene una vida útil aproximadamente tres veces más. Se estima que el costo de mantenimiento mensual varía entre el 0.06% al 0.09% del costo de la inversión.

El programa de mantenimiento correctivo debe contemplar de acuerdo a la cantidad de horas de trabajo la atención de las siguientes partes:

- Baghouse.
- Ciclón.
- Quemador.
- Calentador de cemento asfáltico.
- Fajas transportadoras de agregados.
- Transportador de mezcla en caliente.
- Bombas de asfalto.
- Tuberías.
- Tolvas.



Foto 5.9 Moderna planta de asfalto con tambor Double Barrel de ASTEC la cual produce mezclas asfálticas de alta calidad con bajos costos de producción operación y mantenimiento

5.4 Costo de reposición o reemplazo de equipos

5.4.1 Vida útil

En toda planta de asfalto, tanto durante los tiempos de utilización, como durante los períodos en que se encuentra ociosa, sus diversas partes y mecanismos van sufriendo desgastes y deterioros, por lo que con cierta frecuencia más o menos determinada y predecible, dichas partes deben ser reparadas o sustituidas para que la planta de asfalto esté constantemente habilitada para trabajar y producir con eficiencia y economía.

Sin embargo, con el transcurso del tiempo, irremediamente toda planta de asfalto llega a encontrarse en un estado tal de desgaste y deterioro, que su posesión y trabajo en vez de constituir un bien de producción, significan un carga para su propietario, lo cual ocurre cuando los gastos que se requieren para que la planta de asfalto produzca, exceden a los rendimientos económicos obtenidos con la misma; en otras palabras, la posesión y operación de tal planta de asfalto reportan pérdidas económicas y/o riesgos irracionales.

La vida útil de una planta de asfalto es el lapso durante el cual las partes y componentes están en condiciones de realizar trabajo, sin que los gastos de su posesión excedan los rendimientos económicos obtenidos por el mismo, por mínimos que éstos sean. La Figura 5.10 presenta la vida útil de una planta de asfalto

La vida útil de una planta de asfalto depende de múltiples y complejos factores, que pueden ser: falta de mantenimiento preventivo y correctivo, fallas de fabricación, falta de protección contra los agentes atmosféricos, desgastes excesivos debido a uso anormal, vibraciones y fricción de sus partes móviles, manejo de diferentes operadores e irresponsabilidad de los mismos, descuidos técnicos, etc.

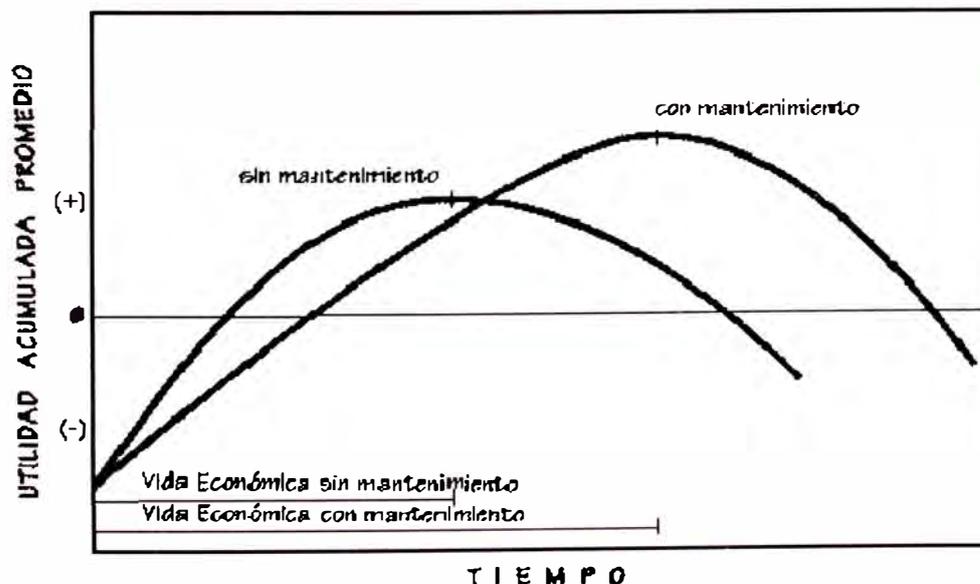


Figura 5.10 Vida útil de una planta de asfalto

5.4.2 Vida económica

Se entiende por vida económica de una planta de asfalto, el período durante el cual puede ésta operar en forma eficiente, realizando un trabajo económico, satisfactorio y oportuno, siempre y cuando la planta de asfalto sea correctamente conservada y mantenida. La Figura 5.11 muestra la vida económica de una planta de asfalto.

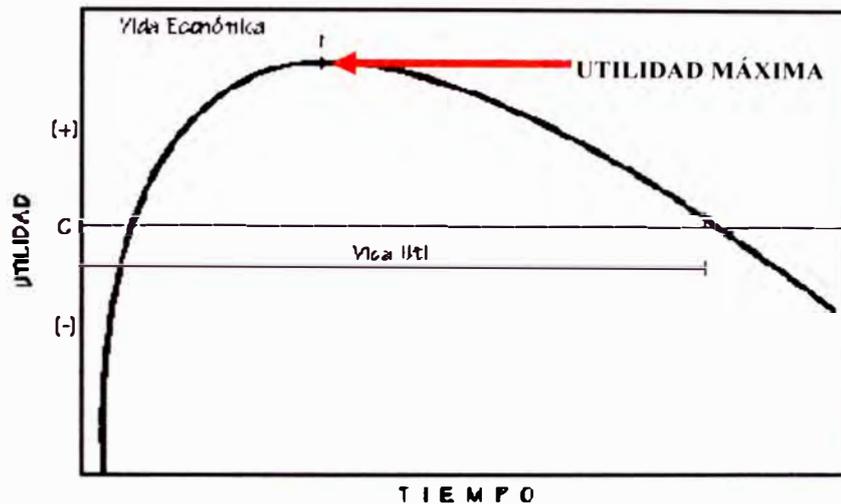


Figura 5.11 Vida económica de una planta de asfalto

Se indicó anteriormente las causas principales por las que toda planta de asfalto, a partir del momento en que empieza a ser utilizada en la producción de mezcla asfáltica, va sufriendo una depreciación, por lo que, para conservarla en condiciones de funcionamiento satisfactorio, requiere de constantes asignaciones presupuestales debido a los gastos derivados de la operación y mantenimiento.

A medida que aumenta la vida y el uso de la planta de asfalto, la productividad de la misma tiende a disminuir y sus costos de operación van en constante aumento como consecuencia de los gastos cada vez mayores de conservación y mantenimiento, así como por las averías cada vez más frecuentes que sufre, mismas que van aumentando sus tiempos muertos o improductivos, reduciendo por tanto su disponibilidad, llegando incluso a afectar la productividad de otras planta de asfaltos que se encuentran abasteciendo a la primera o trabajando conjuntamente con ella en la ejecución de cierto trabajo.

De la observación de registros cuidadosos y detallados de los costos de operación y mantenimiento de una planta de asfalto, fácilmente se determina que, después de cierto período cuando los costos por hora de operación de la misma son cada vez mayores que el promedio de costos obtenidos durante sus operaciones anteriores, la planta de asfalto habrá llegado al fin de su vida económica, a partir del cual su operación resultará antieconómica. La depreciación de las plantas de asfalto nuevas y sus componentes se calcula en el laso comprendido entre siete y diez años. Las plantas que son transportables y reubicables el período de depreciación es de siete años, en cambio las plantas estacionarias pueden ser depreciadas en diez o más años.

Al finalizar el período de vida económica de una planta de asfalto solamente podrían presentarse cualquiera de los tres casos alternos siguientes:

a) Que por su patente estado de deterioro, la planta de asfalto indudablemente deba ser definitivamente desechada, debiéndose vender para obtener algún rescate por la misma, ya que sea cual fuere su estado de deterioro, siempre tendrá un valor de rescate, por ínfimo que este pueda ser.

b) Que por el esmero puesto en su cuidado y operación, la planta de asfalto se encuentre en condiciones aceptables y capaz de continuar trabajando, aunque sujeta a ciertas limitaciones, especialmente en lo que respeta a su eficiencia, potencia y por ende, productividad y operación económica por lo que, indudablemente, se encontrará en condiciones desventajosas con respecto al equipo de los competidores, además de que, con su empleo, se correrán riesgos derivados e imprevisibles y súbitas averías que eventualmente podrán ocurrir, con lo que la planta de asfalto en cuestión tendrá que parar, y aún podría darse el caso de que la forzada inactividad de ésta, afectase la productividad de todo el conjunto de maquinaria que se encontrara trabajando conjugada y armónicamente con la misma, en la ejecución de un trabajo.

c) Que por razones de orden presupuestal o financiero, el poseedor de la planta de asfalto, independientemente del estado de la misma, se encuentre en imposibilidad de sustituirla, por lo que aún a costa de utilidades, se ve en la necesidad de continuar empleando la planta de asfalto obsoleta en las operaciones de construcción. De proceder así, se estará “alargando” la vida útil de la planta de asfalto más allá del término de su vida económica.

En síntesis, las definiciones que giran en torno a la llamada vida económica de las planta de asfaltos, señalan que es un período durante el cual se deben obtener los máximos beneficios en su operación, pues el equipo puede continuar trabajando por más tiempo aunque las utilidades tiendan a disminuir, siguiendo sin embargo, dentro de su vida útil, de modo que la fecha de terminación de la vida económica puede ser elástica en función de la política de ganancia que se fije el propietario.

Se entiende que una planta de asfalto es económicamente obsoleta cuando ha alcanzado el término de su vida económica, quedando además totalmente amortizada la inversión del capital empleado en su adquisición. Sin embargo, el concepto de obsolescencia es relativo, ya que puede suceder que mientras para un constructor cierto equipo resulta obsoleto, para otro, en distintas condiciones financieras y de trabajo, puede que no lo sea.

5.4.3 Depreciación

La depreciación es la pérdida de valor contable que sufren los activos fijos por el uso a que se les somete y su función productora de renta. En la medida en que avance el tiempo de servicio, decrece el valor contable de dichos activos.

Las tasas de depreciación son los porcentajes en que anualmente se va reduciendo el costo de los activos por razón del desgaste o deterioro que sufren al ser usados.

Cada año la planta de asfalto vale menos contablemente porque cada año se va deteriorando y desgastando sus partes y componentes, por lo que el propietario debe cuantificar este desgaste y contabilizarlo. Para las plantas de asfalto el porcentaje normal de depreciación es del 10% anual.

El método de depreciación de planta de asfaltos que proponemos no se basa ni se relaciona con impuestos de ningún tipo. Se trata del método de la línea recta, de forma simple y directa de cancelación durante el número de años o de horas que el propietario espera utilizar la planta de asfalto durante su vida útil y económica con ganancias financieras.

Por lo tanto, es imperativo que se elijan cuidadosamente los períodos de depreciación y que los cálculos sobre los costos de posesión y de operación se basen en la vida útil de la planta de asfalto, en vez de hacerlo en ciertas deducciones impositivas.

Sin embargo se debe considerar que también existen otros factores, además de las condiciones de trabajo, que afectan el tiempo de depreciación, tales como el deseo de acelerar la recuperación del dinero invertido, la compra de una planta de asfalto para una obra de duración específica, las costumbres y condiciones económicas del lugar, la disponibilidad de divisas para la compra de repuestos y muchos otros.

Existen varios métodos para calcular la depreciación, dentro de los cuales el uso ha consagrado uno de ellos como el más equitativo y fácil de aplicar; este método, el más utilizado mundo es el llamado Método de Línea Recta.

Es el método de depreciación más utilizado y con este se supone que los activos se usan más o menos con la misma intensidad año por año, a lo largo de su vida útil; por tanto, la depreciación periódica debe ser del mismo monto.

Este método distribuye el valor histórico ajustado del activo en partes iguales por cada año de uso. Para calcular la depreciación anual basta dividir su valor histórico ajustado entre los años de vida útil.

$$\text{DEPRECIACIÓN ANUAL} = \frac{\text{VALOR HISTÓRICO AJUSTADO} - \text{VALOR RESIDUAL}}{\text{AÑOS DE VIDA ÚTIL}}$$

Sabiendo que el costo de adquisición de la planta de asfalto es \$ US 1'525,525.00 y el período de depreciación es 8 años, entonces calculamos la depreciación anual.

$$\text{Depreciación anual} = \frac{1'525,525.00}{8} = \$ \text{US } 190,690.63 / \text{año.}$$

La depreciación anual, la depreciación acumulada y el valor en libros del activo al final de cada uno de los 8 años de vida útil, se pueden notar en la Tabla 5.31.

AÑO	DEPRECIACIÓN ANUAL	DEPRECIACIÓN ACUMULADA	VALOR EN LIBROS
1	190,690.63	190,690.63	1'334,834.37
2	190,690.63	381,381.26	1'144,143.74
3	190,690.63	572,071.89	953,453.11
4	190,690.63	762,762.52	762,762.48
5	190,690.63	953,453.15	572,071.85
6	190,690.63	1'144,143.78	381,381.22
7	190,690.63	1'334,834.41	190,690.63
8	190,690.63	1'525,525.00	0

Tabla 5.31 Depreciación acumulada de la planta de asfalto

También presentamos otra metodología de depreciación para aplantas de asfalto denominado el Método de la Suma de los Dígitos de los Años.

Este método aplica sobre el valor por depreciar una fracción cuyo denominador corresponde a la suma de los dígitos de los años de vida útil y el numerador es el número de años que le resta de vida útil al activo.

Algebraicamente, con el fin de obtener la suma de los dígitos de los años, debe aplicarse la siguiente formula:

$$S = \frac{n(n+1)}{2}$$

Donde:

S = Suma de los dígitos de los años.

n = Años estimados de vida útil.

Para nuestro caso de la planta de asfalto, la suma de los dígitos es:

$$S = \frac{8(8+1)}{2} = 36$$

La fracción que se aplicará sobre el valor por depreciar para el primer año será entonces 8/36, para el segundo año será 7/36 y así sucesivamente. La Tabla 5.32 muestra la depreciación para cada uno de los 8 años de vida útil de la planta de asfalto.

AÑO	FRACCIÓN ANUAL X VALOR DE ADQUISICIÓN	DEPRECIACIÓN ANUAL
1	8/36 x 1'525,525.00	339,005.56
2	7/36 x 1'525,525.00	296,629.86
3	6/36 x 1'525,525.00	254,254.17
4	5/36 x 1'525,525.00	211,878.47
5	4/36 x 1'525,525.00	169,502.78
6	3/36 x 1'525,525.00	127,127.08
7	2/36 x 1'525,525.00	84,751.39
8	1/36 x 1'525,525.00	42,375.69

Tabla 5.32 Depreciación acumulada de la planta de asfalto

En la Tabla 5.33 se presentan la depreciación anual, la depreciación acumulada y el valor en libros del activo para cada uno de los 8 años de vida útil de la planta de asfalto.

AÑO	DEPRECIACIÓN ANUAL	DEPRECIACIÓN ACUMULADA	VALOR EN LIBROS
1	339,005.56	339,005.56	1'186,519.44
2	296,629.86	635,635.42	889,889.58
3	254,254.17	889,889.59	635,635.41
4	211,878.47	1'101,768.06	423,756.94
5	169,502.78	1'271,270.84	254,254.16
6	127,127.08	1'398,397.92	127,127.08
7	84,751.39	1'483,149.31	42,375.69
8	42,375.69	1'525,525.00	0

Tabla 5.33 Depreciación por el método de la suma de los dígitos de los años de la planta de asfalto

Como se puede observar, por el Método de la Suma de los Dígitos de los Años la planta de asfalto se deprecia en mayores montos en los primeros años de vida, que en el caso del método de línea recta, mientras que en los últimos años sucede lo contrario.

5.4.4 Valor residual o de rescate

Se entiende por valor de rescate de una planta de asfalto, el valor comercial que tiene la misma al final de su vida económica. Toda planta de asfalto usada, aún en el caso de que sólo amerite considerársele como chatarra, tiene siempre un cierto valor de rescate.

Se acostumbra considerar el valor de rescate, como un porcentaje del valor de adquisición de la planta de asfalto, que puede variar entre 25% y 45%. El valor de adquisición, por otra parte, se considera como el precio promedio actual de la planta de asfalto en el mercado, pagado de contado.

Toda planta de asfalto tendrá cierto valor cuando se reponga por una nueva. Sin bien muchos propietarios prefieren depreciar sus plantas de asfaltos hasta un valor de cero desde el punto de vista contable, otros reconocen el valor residual proveniente de la reventa o canje.

Esto es una opción del tasador, pero al igual que en lo relativo a los periodos de la depreciación, los costos que tienen las planta de asfaltos ahora, casi obligan a que se considere el valor de reventa para determinar la inversión neta despreciable. Y si las planta de asfaltos se canjean en menos tiempo, debido a las ventajas relativas a los impuestos, el valor de reventa es aún más importante.

Para muchos propietarios, el valor potencial de reventa de canje es un factor determinante en sus decisiones de compra, ya que es una forma de reducir la inversión que se debe recobrar mediante la depreciación. El alto valor de reventa de las planta de asfaltos fabricadas por ASTEC reduce los cargos por hora de depreciación, así como los costos totales horarios de posesión y mejora las posibilidades competitivas del propietario.

Cuando se utiliza el valor de reventa o de canje para calcular los costos por hora de posesión y de operación, se debe tener en cuenta las condiciones del lugar. Sin embargo en todo mercado de planta de asfaltos de segunda mano, los factores más importantes en el valor de reventa o de canje son el tiempo de trabajo de la planta de asfalto, los tipos de trabajo y las condiciones de operación en que se utilizó, así como el estado en que se encuentra.

Para proteger la inversión en el equipo y poder reemplazarlo, el usuario debe recuperar durante la vía útil de la planta de asfalto una cantidad igual a la pérdida del valor en la reventa más los otros costos de posesión del equipo incluyendo los intereses, seguros e impuestos.

Para fines contables, el propietario de una planta de asfalto puede estimar anticipadamente la pérdida del valor de su planta de asfalto en el mercado para recobrar su inversión originalmente un plan de depreciación de la cantidad invertida de acuerdo a los diversos trabajos que realiza. Al formular dichos planes, se recomienda obtener la asistencia apropiada sobre financiación e impuestos.

5.5 Costo de horario de posesión y operación

Los costos por la hora de posesión y de operación de un modelo de planta de asfalto pueden variar mucho, pues están efectuados por muchos factores: el tipo de trabajo, los precios locales de combustibles y lubricantes, los costos de envío de la fábrica, las tasas de interés, etc. En este acápite no intentamos dar los costos exactos por hora para una planta de asfalto.

Por lo tanto, en esta sección presentamos un método para calcular los costos por hora de posesión y de operación, así como datos sobre la Planta Six-Pack Portátil Modelo PDB-200 de ASTEC. Al considerar además las condiciones existentes, podremos obtener estimaciones exactas.

La metodología sugerida que a continuación presentamos se basa en varios principios básicos:

- No se dan precios de los componentes o partes específicos de la planta. Para mayor exactitud se deben obtener los precios locales.
- El volumen de producción horaria de la mezcla asfáltica en caliente considera la zona de operación de la altura respecto al nivel, porcentaje de humedad de agregados, diseño de mezcla y la tecnología del tambor mezclador,
- Los cálculos se basan en una planta de asfalto completa. No es necesario hacer cálculos separados para la planta de asfalto básica, tolvas en frío, tambor mezclador, baghouse, silos, transportador de mezcla en caliente, etc.
- Los factores multiplicadores proporcionan resultados en dólares americanos, los mismos que se expresan en dos cifras decimales.

Considerando las actuales condiciones económicas mundiales y la tendencia hacia el uso de equipos de asfalto con mayor tecnología, muchos usuarios prefieren continuar utilizándolas después de amortizar completamente las plantas de asfaltos por motivos de carácter tributario o impuestos.

Por otra parte, los incentivos impositivos existentes en algunos lugares pueden hacer favorable el cambio de una planta de asfalto mucho antes de que alcance el término de su vida útil

Las prácticas de mantenimiento y el overhaul se toman en consideración en el cálculo, y son importantes para determinar la vida útil de las planta de asfaltos. Estamos considerando que el período de depreciación para la planta de asfalto es de 18,480 horas las cuales han sido obtenidas de la siguiente manera: 10 horas de trabajo diario, 21 días por mes, 11 meses de trabajo por año (1 mes para mantenimiento general) y 8 años de vida útil.

Un programa de mantenimiento bueno y consistente extiende la vida económica de una planta de asfalto; por lo tanto conocer la utilización que se le va dar, las condiciones de operación y las prácticas de mantenimiento, más cualquier otro factor especial, es algo esencial para establecer la duración esperada de una planta de asfalto con fines de depreciación.

Normalmente los costos de reparación son los aspectos más importantes que los costos de operación e incluyen todas las piezas y mano de obra (excepto el salario del operador) que se puede atribuir a la planta de asfalto.

Los gastos generales del taller se pueden absorber en los gastos generales de la empresa o entidad o bien asignar a los otros equipos o máquinas como un porcentaje del costo de mano de obra directa según la práctica normal del propietario de la planta de asfalto.

Los costos horarios de reparación de una sola planta de asfalto normalmente tienen un patrón ascendente marcado debido a que los desembolsos más importantes vienen juntos. Sin embargo, cuando se consideran promedios más altos, el ascenso es más suave.

Debido a que este costo horario de reparación empieza bajo y se eleva gradualmente durante al vida de la máquina, los costos horarios de operación se deben también ajustar constantemente hacia arriba al ir envejeciendo la planta de asfalto. También se puede utilizar un costo de reparación promedio con un costo horario fijo. La mayoría de los propietarios prefieren el método de promedio y es el que se sugerimos en el presente trabajo.

Debido a que los costos de reparación inicialmente representan aproximadamente el 3% de la inversión son bajos y se van elevando gradualmente, el promediarlos produce un excedente extra al principio que se pueda reservar para cubrir los costos más altos posteriores.

Las aplicaciones de las componentes o partes, las condiciones de operación y la atención en el mantenimiento determinan también los costos de reparación los cuales aproximadamente representan anualmente el 2% del monto de la inversión en maquinaria y equipo. En cualquier aplicación específica, la experiencia de un costo real en un trabajo similar da la mejor base para establecer una reserva de reparación horaria.

El costo horario por equipo, es el que se deriva del uso correcto de la planta de asfalto adecuada y necesaria para la ejecución de los conceptos de trabajo, conforme a lo estipulado en las especificaciones y en el contrato.

Muchos propietarios de plantas de asfalto incluyen los intereses como parte de los costos por hora de operación mientras que otros prefieren considerarlos como gastos generales de sus operaciones totales.

Cuando estas partidas se cargan a la planta de asfalto determinada, el interés se basa generalmente en la inversión promedio anual de la unidad. El interés sobre capital empleado en la compra de una planta de asfalto se debe considerar tanto si se compró la planta de asfalto al contado como a plazos.

Si se va a utilizar la planta de asfalto durante n años (en donde n es el número de años de utilización), se debe calcular la inversión promedio anual durante el periodo de uso aplicando la tasa de interés y la utilización anual esperada con la siguiente ecuación:

$$\left[\left(\frac{n+1}{2n} \right) \times \text{Precio de entrega} \right] \times \% \text{ tasa de interés simple}$$

horas / año

El costo del seguro y de los impuestos de propiedad se puede calcular de dos maneras. Si se conoce el costo específico anual hay que utilizar dicha cifra sin embargo, cuando no se conoce el costo por cada planta de asfalto, se puede aplicar la fórmula siguiente:

$$\left[\left(\frac{n + 1}{2n} \right) \times \text{Precio de entrega} \right] \times \% \text{ tasa de seguro} \\ \text{horas / año}$$

El consumo de combustible se puede calcular con bastante exactitud en la producción de la mezcla asfáltica durante el proceso de operación de la planta de asfalto. Sin embargo, si no hay oportunidad de hacerlo se puede estimar utilizando la información de la Figura 5.12. La humedad del agregado determina el factor de consumo de combustible en el tambor mezclador.

DIAMETRO DEL TAMBOR	GASES DE PROCESO A TRAVES TAMBOR (m ³ /min)	Porcentaje de humedad eliminado y litros de combustible por tonelada										ESCAPE TOTAL A TRAVES SISTEMA (m ³ /min)
		3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	
1,8 m	28,000	260	217	186	161	142	127	115	104	95	88	872
2,1 m	38,500	357	298	255	222	196	175	158	143	132	121	1199
2,4 m	50,000	464	387	331	288	254	228	205	186	171	157	1558
2,7 m	63,500	591	492	420	366	323	288	260	237	217	199	1978
3,0 m	78,500	729	608	520	453	399	357	322	292	268	246	2445

• 50% EXCESO DE AIRE DE COMBUSTION EN EL TAMBOR
 • 10% FUGA A TRAVES DE LOS SELLOS Y CANALETAS DE ENTRADA Y DESCARGA DE RAP
 • PESO DEL MATERIAL 1762 kg/m³
 • 4% HUMEDAD
 • 5.5% ASFALTO LIQUIDO
 • Mezcla 149 C con chimenea a 116 C

PROPORCIONES DE PRODUCCION (TPH) DE LOS SECADORES MEZCLADORES TIPO DOUBLE BARREL

Figura 5.12 Consumo de combustible por tonelada producida

La Tabla 5.34 muestra la Tarifa Horaria de la Planta de Asfalto PDB 200 ASTEC, la Tabla 5.35 presenta el Cálculo de Interés, Impuestos y Seguros y la Tabla 5.36 corresponde al Cuadro Resumen de Costos y Tarifa Horaria.

CÁLCULO DE TARIFA HORARIA PARA LA PLANTA DE ASFALTO PDB 200 ASTEC

EQUIPO	PLANTA DE ASFALTO PDB 200 ASTEC	
FECHA DE COMPRA:	Ene-07	
FINANCIAMIENTO:	Leasing	
TASA DE INTERES:	15	% ANUAL
HORAS VIDA UTIL:	18000	HORAS
TIEMPO DE POSESION:	8	AÑOS
PRIMA SEGURO:	1.03	% ANUAL
IMPUESTOS:	0.50	% ANUAL

COSTO DE POSESION

PRECIO DE ENTREGA	1,525,525.00	FACTOR DE INCIDENCIA
1. VALOR A RECOBRAR MEDIANTE-TRABAJO	1.525.525 00	
2. COSTO POR HORA	84 75	13.09 %
3. COSTO POR INTERES	31 69	4.89 %
4. SEGUROS	2.29	0.35 %
5. IMPUESTOS	1.91	0.29 %
COSTO TOTAL POR HORA DE POSESION	US\$ 120.64	F.I. 18.63 %

COSTOS DE OPERACION

A. COMBUSTIBLE	453 53	70.05 %
B. LUBRICANTES Y GRASAS	0.60	0.09 %
C. FILTRO DE MANGAS BAGHOUSE	5.03	0.78 %
D. REPUESTOS Y MANTENIMIENTO	2.80	0.43 %
E. OPERADOR	6.00	0.93 %
COSTO TOTAL POR HORA DE OPERACION	US\$ 467.96	F.I. 72.28 %

TOTAL COSTO DE OPERACION Y POSESION	US\$ 588.60	F.I. 90.91 %
--	--------------------	---------------------

GASTOS GENERALES	5 %	29.43	F.I. 4.55 %
-------------------------	------------	--------------	--------------------

UTILIDAD	5 %	29.43	F.I. 4.55 %
-----------------	------------	--------------	--------------------

COSTO TOTAL U\$ / HORA	647.46	F.I. 100.00 %
-------------------------------	---------------	----------------------

A. COMBUSTIBLE:

ELEMENTO	UND	CANT	P.UNITARIO	PARCIAL	DURACION (HRAS)	COSTO/HRA	F.I.
COMBUSTIBLE DIESEL	GAL	149 68	3.03	453.53	1	453.53	70.05%
COSTO POR HORA (US \$ / HR)						453.53	70.05%

B. LUBRICANTES:

1. CAMBIO A 250 HRS FRECUENCIA 250 HRAS

ELEMENTO	UND	CANT	P.UNITARIO	PARCIAL	DURACION (HRAS)	COSTO/HRA	F.I.
FILTRO DE TANQUE PETROLEO	UND	1.00	8.18	8.18	250	0.03	0.01%
FILTRO DE BOMBA DE ACEITE	UND	1.00	8.13	8.13	250	0.03	0.01%
ACEITE PARA TOLVA DE MEZCLA	GAL	7.50	3.69	27.68	250	0.11	0.02%
MANO DE OBRA	%	0.20	0.18	0.04		0.04	0.01%
COSTO POR HORA (US \$ / HR)						0.21	0.03%

2. CAMBIO A 1000 HRS FRECUENCIA 1000 HRAS

ELEMENTO	UND	CANT	P.UNITARIO	PARCIAL	DURACION (HRAS)	COSTO/HRA	F.I.
FILTRO DEL QUEMADOR	UND	1.00	14.89	14.89	1000	0.01	0.00%
ACEITE TERMICO	GAL	22.00	3.69	81.18	1000	0.08	0.01%
MANO DE OBRA	%	0.20	0.10	0.02		0.02	0.00%
COSTO POR HORA (US \$ / HR)						0.12	0.02%

3. CAMBIO A 2000 HRS FRECUENCIA 2000 HRAS

ELEMENTO	UND	CANT	P.UNITARIO	PARCIAL	DURACION (HRAS)	COSTO/HRA	F.I.
FILTRO HIDRAULICO	UND	2.00	14.89	29.78	2000	0.01	0.00%
ACEITE PARA SISTEMA HIDRAULICO	GAL	20.00	3.53	70.60	2000	0.04	0.01%
ACEITE TERMICO SE SILOS	GAL	17.00	3.53	60.01	2000	0.03	0.00%
FILTRO DE CICLÓN	UND	1.00	26.30	26.30	2000	0.01	0.00%
FILTROS DE MANGAS	UND	1.00	43.75	43.75	2000	0.02	0.00%
MANO DE OBRA	%	0.20	0.12	0.02		0.02	0.00%
COSTO POR HORA (US \$ / HR)						0.14	0.02%

4. GRASAS FRECUENCIA 3 VECES x SEMANA (50 HRAS)

ELEMENTO	UND	CANT	P.UNITARIO	PARCIAL	DURACION (HRAS)	COSTO/HRA	F.I.
GRASAS + GRASERAS	UND	3.00	1.50	4.50	50	0.09	0.01%
MANO DE OBRA	%	0.50	4.50	2.25	50	0.05	0.01%
COSTO POR HORA (US \$ / HR)						0.14	0.02%

TOTAL LUBRICANTES Y GRASAS	0.60	0.09%
-----------------------------------	-------------	--------------

C. ELEMENTOS DE DESGASTE

1. ELEMENTOS DE DESGASTE

ELEMENTO	UND.	CANT.	P.UNITARIO	PARCIAL	DURACION (HRAS)	COSTO/HRA	F.I.
TABIQUES PARA TOLVAS AGREGADOS	UND	2	74.40	148.80	250	0.60	0.09%
FAJA DE AGREGADOS	UND	2	350.00	700.00	200	3.50	0.54%
PERNOS Y TUERCAS	GLB	1	86.40	86.40	250	0.35	0.05%
COMPUERTAS DE TOLVAS	UND	2	56.00	112.00	200	0.56	0.09%
COSTO POR HORA (US \$ / HR)						5.00	0.77%

2. CABLES Y FUSIBLES

ELEMENTO	UND.	CANT.	P.UNITARIO	PARCIAL	DURACION (HRAS)	COSTO/HRA	F.I.
CABLES, FUSIBLES SWITCHS	UND	6	20.00	120.00	4000	0.03	0.00%
COSTO POR HORA (US \$ / HR)						0.03	0.00%

TOTAL CABLES FUSIBLES SWITCHS	5.03	0.78%
--------------------------------------	-------------	--------------

D. REPUESTOS Y MANTENIMIENTO

1. A LAS 5000 HRS

FRECUENCIA 5000 HRAS

ELEMENTO	UND	CANT.	P.UNITARIO	PARCIAL	DURACION (HRAS)	COSTO/HRA	F.I.
REEMPLAZO DEL SINFIN DEL CICLON	UND	1	1650.00	1650.00	5000	0.33	0.05%
INYECTORES DEL QUEMADOR	JGO	1	920.00	920.00	5000	0.18	0.03%
BOMBA DE PETROLEO	UND	1	120.00	120.00	5000	0.02	0.00%
OTROS REPUESTOS+ M.O.	JGO	1	2000.00	2000.00	5000	0.40	0.06%
COSTO POR HORA (US \$ / HR)						0.94	0.14%

2. OVERHAUL

ELEMENTO	UND	CANT.	P.UNITARIO	PARCIAL	DURACION (HRAS)	COSTO/HRA	F.I.
OVERHAUL				26000.00	14000	1.86	0.29%
COSTO POR HORA (US \$ / HR)						1.86	0.29%

TOTAL REPUESTOS Y MANTENIMIENTO	2.80	0.43%
--	-------------	--------------

Tabla 5.34 Tarifa horaria de la planta de asfalto PDB 200 ASTEC

TABLA DEL CÁLCULO DE INTERÉS IMPUESTOS Y SEGURO

EQUIPO	PLANTA DE ASFALTO PDB 200 ASTEC	
VIDA UTIL	18,000	HORAS
VIDA UTIL	8	AÑOS
TASA	15	%
COSTO	1,525,525	\$ US

190690.625

AÑO	COSTO	SALDO	PAGOS MES	INTERESES	IMPUESTOS	SEGUROS
1	1,525,525.00	-1,135,320.52	-137,691.31	-126,770.74	7,627.63	0.87
2	1,334,834.38	-1,022,670.82	-120,479.90	-110,924.40	6,674.17	0.76
3	1,144,143.75	-910,020.99	-103,268.48	-95,078.06	5,720.72	0.65
4	953,453.13	-797,371.29	-86,057.07	-79,231.71	4,767.27	0.55
5	762,762.50	-684,845.66	-68,845.66	-63,385.37	3,813.81	0.44
6	572,071.88	-572,071.88	-51,634.24	-47,539.03	2,860.36	0.33
7	381,381.25	-381,381.25	-34,422.83	-31,692.69	1,906.91	0.22
8	190,690.63	-190,690.63	-17,211.41	-15,846.34	953.45	0.11
TOTAL		-3,978,033.32 Pts		-570,468.34	34,324.31	2.29

Tabla 5.35 Cálculo de interés impuestos y seguros

CUADRO RESUMEN DE COSTOS DE POSESION Y OPERACIÓN DE LA PLANTA DE ASFALTO PDB 200 ASTEC (\$ US / HRA)

DESCRIPCIÓN	COSTOS DE POSESION					COSTOS DE OPERACIÓN										GASTOS		COSTO TOTAL US\$ / HRA
	COSTO x HORA	COSTO x INTERES	SEGUROS	IMPUESTOS	COSTO TOTAL POSESION	COMBUSTIBLE	LUBRICANTES Y GRASAS	ELEMENTOS DE DESGASTE	CABLES Y FUSIBLES	REPUESTOS Y MANTENIMIENTO	ACCESORIOS	OVERHAUL	OPERADOR	COSTO TOTAL OPERACIÓN	GRALES. 5%	UTIL. 5%		
PLANTA DE ASFALTO	84.75	31.69	2.29	1.91	120.64	453.53	0.60	5.00	0.03	0.94	0.00	1.86	6.00	467.96	29.43	29.43	647.46	

Tabla 5.36 Cuadro resumen de costos de posesión y operación de la planta de asfalto PDB 200 de ASTEC

JUNIO 2007

N°	EQUIPO	POTENCIA	CAPACIDAD	PESO (KG)	Vida Util Años	VPI (n+1)/2n	Vida Util Horas	VALOR ADQUISICION		VALOR RESIDUAL		COSTO DE POSESION TOTAL (A)	COSTO DE OPERACION TOTAL (B)	COSTO HORARIO (A+B)
								US \$	S/.	%	S/.			
								EQUIPOS PARA PAVIMENTACION						
96	COCINA DE ASFALTO		320 Gn	2.100.00	5.00	0.60	10.000	3.814	12.586	25	3.146.50	1.91	38.68	40.59
7	PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE		150 Tn.Hr.	46.800.00	10.00	0.55	20.000	752.307	2.482.612	25	620.652.90	270.74	1.213.61	1.484.35
8	PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE (CIFALLI)		205 Tn.Hr.		10.00	0.55	20.000	1.273.783	4.203.483	25	1.050.870.82	458.41	1.658.34	2.116.75
100	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS	224 HP	10	12.000.00	10.00	0.55	20.000	472.000	1.557.600	25	389.400.00	169.87	156.50	326.37
101	RECICLADORA EN FRIO	396 HP	295 KW	22.900.00	7.50	0.57	10.000	735.441	2.426.955	25	606.738.82	450.40	365.46	815.86
102	FRESADORA	565 HP	421 KW	30.000.00	7.50	0.57	10.000	884.265	2.918.075	25	729.518.70	541.55	460.88	1.002.43

NOTA:

- EL COSTO HORARIO TOTAL INCLUIDO GASTOS GENERALES Y UTILIDAD OBTENIDO PARA LA PLANTA DE ASFALTO DOUBLE BARREL PDB 200 ASTEC ES DE US\$ 647.46, ES SIMILAR AL COSTO HORARIO ESTABLECIO POR EL MINISTERIO DE TRANSPORTES EL CUAL ES DE S/. 2,116.75 A \$ US 3.30 /DÓLAR REPRESENTA \$US 641.44 PARA PLANTAS CIFALLI DE FLUJO PARALELO CON CAPACIDAD DE 205 TPH.
- LAS IMPORTANTES VENTAJAS COMPARATIVAS Y COMPETITIVAS DE LA PLANTA DE ASFALTO DOUBLE BARREL PDB 200 ASTEC RADICA EN LA CALIDAD DE LA MEZCLA PRODUCIDA, CERO DE OPACIDAD, ECOLOGICAMENTE EFICIENTE, CON ALTERNATIVA DE USAR RAP ES MUY SUPERIOR POR SER TECNOLOGÍA DE ULTIMA GENERACIÓN.



CAPÍTULO

VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA

El que aprende y aprende y no practica lo que sabe, es como el que ara y ara y nunca siembra.

PLATÓN

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA

6.1 Generalidades

El principio fundamental de la evaluación de proyectos consiste en medir su valor, en función de la comparación de los beneficios y costos proyectados en el horizonte de planeamiento. Por consiguiente, evaluar un proyecto de inversión es medir su valor económico, financiero o social a través de ciertas técnicas e indicadores de evaluación, con los cuales se determinan la alternativa viable u óptima de inversión, previa a la toma de decisiones respecto a la ejecución o no ejecución del proyecto.

Las técnicas de evaluación de proyectos son herramientas de decisión que permiten calcular el valor del proyecto desde algún punto de vista ya establecido, cuya actualización del flujo de beneficios y costos proyectados son realizados a través de algún indicador de evaluación, previa a la toma de decisión respecto a la aceptación o rechazo del proyecto.

La evaluación de proyectos en términos de elección o selección de oportunidades de inversión, consiste en comparar los beneficios generados asociados a la decisión de inversión y su correspondiente desembolso de gastos. El proceso de evaluación de proyectos se realiza a través de ciertos indicadores o parámetros de evaluación, cuyos resultados permiten realizar las siguientes acciones de decisión:

- a) Tomar una decisión de aceptación o rechazo, cuando se trata de un proyecto específico.
- b) Elegir una alternativa óptima de inversión, cuando los proyectos son mutuamente excluyentes.
- c) Postergar la ejecución del proyecto, cuando existe racionamiento de capitales para su implementación.

Cabe destacar, que la evaluación de proyectos de inversión bajo la óptica empresarial, consiste en medir su valor excluyendo el financiamiento del proyecto y el aporte de los accionistas. La evaluación de proyectos se inicia con la verificación del presupuesto de costos y los cuadros auxiliares de gastos e ingresos; continúa con la comparación del flujo de beneficios y costos proyectados por su respectiva tasa de descuento en el horizonte de planeamiento; finaliza con la determinación de las alternativas de inversión, obteniéndose los siguientes indicadores:

- Valor Actual Neto (VAN).
- Tasa Interna de Retorno (TIR).
- Factor Beneficio /Costo (B/C).
- Flujo Anual Equivalente (FAE).

La selección de proyectos de inversión se realiza sobre la base de los resultados de indicadores cuyos valores con signos de mayor, menor o igual permiten recomendar como proyecto aceptado, proyecto postergado o proyecto rechazado.

6.1.1 Proyectos aceptados

Los proyectos de inversión públicos o privados son aceptados para el financiamiento de crédito cuando los indicadores de evaluación arrojan los siguientes resultados:

- 1.- $VAN > 0$
- 2.- $TIR > i$
- 3.- $B/C > 1$

El primer indicador, significa que los beneficios de los proyectos son superiores a sus costos; mientras que en el segundo, significa que la tasa interna de rendimiento es superior a la tasa bancaria o tasa corriente; por último el tercero, ilustra que los beneficios generados por los proyectos son mayores a los costos incurridos de implementación.

6.1.2 Proyectos postergados

Los proyectos de inversión pública o privado son postergados cuando los indicadores arrojan los siguientes resultados:

- 1.- $VAN = 0$
- 2.- $TIR = i$
- 3.- $B/C = 1$

En este caso, los beneficios y costos de los proyectos están en equilibrio, por tanto, se recomienda corregir algunas variables como: mercado, tecnología, financiamiento e inversión.

6.1.3 Proyectos rechazados

Los proyectos de inversión son rechazados cuando los indicadores arrojan los siguientes resultados:

- 1.- $VAN < 0$
- 2.- $TIR < i$
- 3.- $B/C < 1$

En este caso, significa que los beneficios de los proyectos son inferiores a sus costos y la tasa interna de rendimiento es inferior a la tasa bancaria, siendo rechazado definitivamente el proyecto.

Cabe destacar, que el proceso de elaboración y evaluación de proyectos de inversión pública y privada se inicia con la identificación de la idea o perfil del proyecto, continúa con la formulación y evaluación del estudio de prefactibilidad y finaliza con la preparación y evaluación del estudio de factibilidad. Indudablemente, para disponer de

cada uno de los niveles de estudio se requiere el manejo de técnicas y criterios de evaluación de proyectos, los cuales sugiere el cumplimiento cabal de las normas y pautas metodológicas de evaluación diseñados por el órgano de planificación; por lo tanto, los responsables de evaluación de proyectos deben ser técnicos especializados para dicha labor, con la finalidad de determinar las alternativas de inversión para la ejecución o no ejecución del proyecto.

6.2 Conceptos de evaluación

La evaluación de proyectos de inversión es entendida de muchas maneras; siendo en síntesis concebida como una operación intelectual que permite medir el valor del proyecto, comparando los beneficios que genera asociado a la decisión de inversión de capital y el correspondiente desembolso de gastos en el horizonte de planeamiento o vida útil del proyecto.

El Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social (ILPES), creado por las Naciones Unidas con sede en Santiago de Chile, define a la evaluación de proyectos de inversión como el proceso de valorización de los recursos, cuyos indicadores conducen a aceptar, rechazar o clasificar un proyecto dentro de cierto orden de prioridades previamente establecidos.

Para el Instituto Nacional de Planificación (INP) del Perú, creado mediante Decreto Ley 14220 en Octubre de 1,962 y desactivado por el Decreto Ley N° 25548 de junio de 1,992, define la evaluación de un proyecto de inversión, como una técnica de medición de sus ventajas o desventajas del proyecto, en términos del análisis de sus beneficios y costos actualizados, cuyos resultados positivos o negativos permite determinar la conveniencia de aceptación o rechazo por parte de la entidad ejecutora.

El Arquitecto Fernando Carbajal, profesor del curso de Maestría "Preparación y Evaluación de Proyectos" en el Instituto de Planeamiento de Lima, define a la evaluación de proyecto de inversión como el proceso de medición de su valor, comparando los beneficios que generan y los costos que requieren, desde algún punto de vista establecido.

Simón Andrade Espinoza, Catedrático del Curso de Formulación y Evaluación de Proyectos, define a la evaluación de proyectos de inversión como una operación intelectual que mide el valor económico y financiero del proyecto, según la actualización del flujo de beneficios y costos proyectados, que a través de ciertos indicadores permite determinar las ventajas o desventajas del proyecto.

Arlette Beltrán y Hanny Cueva, Profesoras de la Universidad del Pacífico, indican que para realizar la evaluación de un proyecto de inversión es necesario utilizar diversos criterios que permitan conocer las ventajas y desventajas que se obtendrían para realizar la inversión. Estos criterios son los indicadores o índices de rentabilidad, que hacen posible determinar la rentabilidad de un proyecto a partir del flujo de caja proyectado

Para el contador y auditor financiero, cuya tarea fundamental es el análisis de los estados financieros básicos y el flujo de caja proyectado, la evaluación de proyectos de

inversión constituye un examen o balance de los recursos reales y financieros asignados para la ejecución del proyecto en un período dado.

En síntesis tanto los organismos públicos como los tratadistas de proyectos de inversión coinciden en sus alcances y apreciaciones conceptuales; es decir, ambos refieren a la evaluación de proyectos de inversión como una técnica u operación intelectual para medir el valor económico o financiero del proyecto, a través de la comparación de los beneficios que generan y los costos que requieren en el horizonte de planeamiento, con la finalidad de establecer las ventajas y/o desventajas de ejecución en el horizonte de planeamiento.

6.3 Utilidad de la evaluación del proyecto de inversión

La evaluación de los proyectos de inversión es importante y útil porque permite medir el valor intrínseco del proyecto, sobre la base de la comparación del flujo de beneficios y costos proyectados, que una vez aceptado garantiza a que los recursos financieros de la empresa, el gobierno o la comunidad sean asignados en forma racional para la producción de bienes y servicios. En este sentido, los procesos de evaluación de proyectos consisten en medir el valor económico, financiero y social del proyecto desde algún punto de vista determinado.

La evaluación de proyectos se considera importante porque está orientado a un campo de acción ya definido, como tal, proporciona una pauta pragmática para el uso apropiado de las técnicas de medición, apoyado en ciertos indicadores o parámetros de evaluación.

Desde el punto de vista empresarial la importancia de la evaluación de proyectos radica en la medición de su valor incluyendo el financiamiento del proyecto, es decir, considerando el valor de los factores financieros frente al costo del capital en el mercado financiero.

Para los accionistas la evaluación de proyectos es importante porque es una técnica que permite medir la eficiencia de sus acciones asociado al costo total del proyecto, cuyo aporte en calidad de acciones permite ampliar el patrimonio de la empresa y cubrir el requerimiento de capital para la materialización de una unidad de producción de bienes y servicios. En este caso, es necesario conocer el factor de rentabilidad como una razón para medir el grado de eficiencia de la inversión total, además de conocer los indicadores financieros. Se entiende por rentabilidad a la razón que proviene de dividir el beneficio neto entre la inversión total.

Para los entes ejecutores de los órganos operativos del sector público, la importancia de la evaluación económica de proyectos radica en el manejo de ciertos criterios y factores económicos de medición de valores y la comparación del flujo de beneficios y costos proyectados a precios de mercado corregidos, a fin de determinar las diferentes alternativas de inversión que provienen de los planes y programas de desarrollo de largo, mediano y corto alcance. En este caso, la valoración del proyecto se realiza bajo dos enfoques distintos: ¿Cuánto vale el proyecto para la empresa? y ¿Cuánto vale para el Estado?.

6.4 Proceso de evaluación de proyectos

Consiste en la evaluación de proyectos por etapas o niveles de estudio bajo un orden metodológico, cuyo procedimiento técnico permite realizar una evaluación en forma sistematizada y secuencial. La Figura 6.1 muestra las etapas y resultados del Proceso de Evaluación de Proyectos.

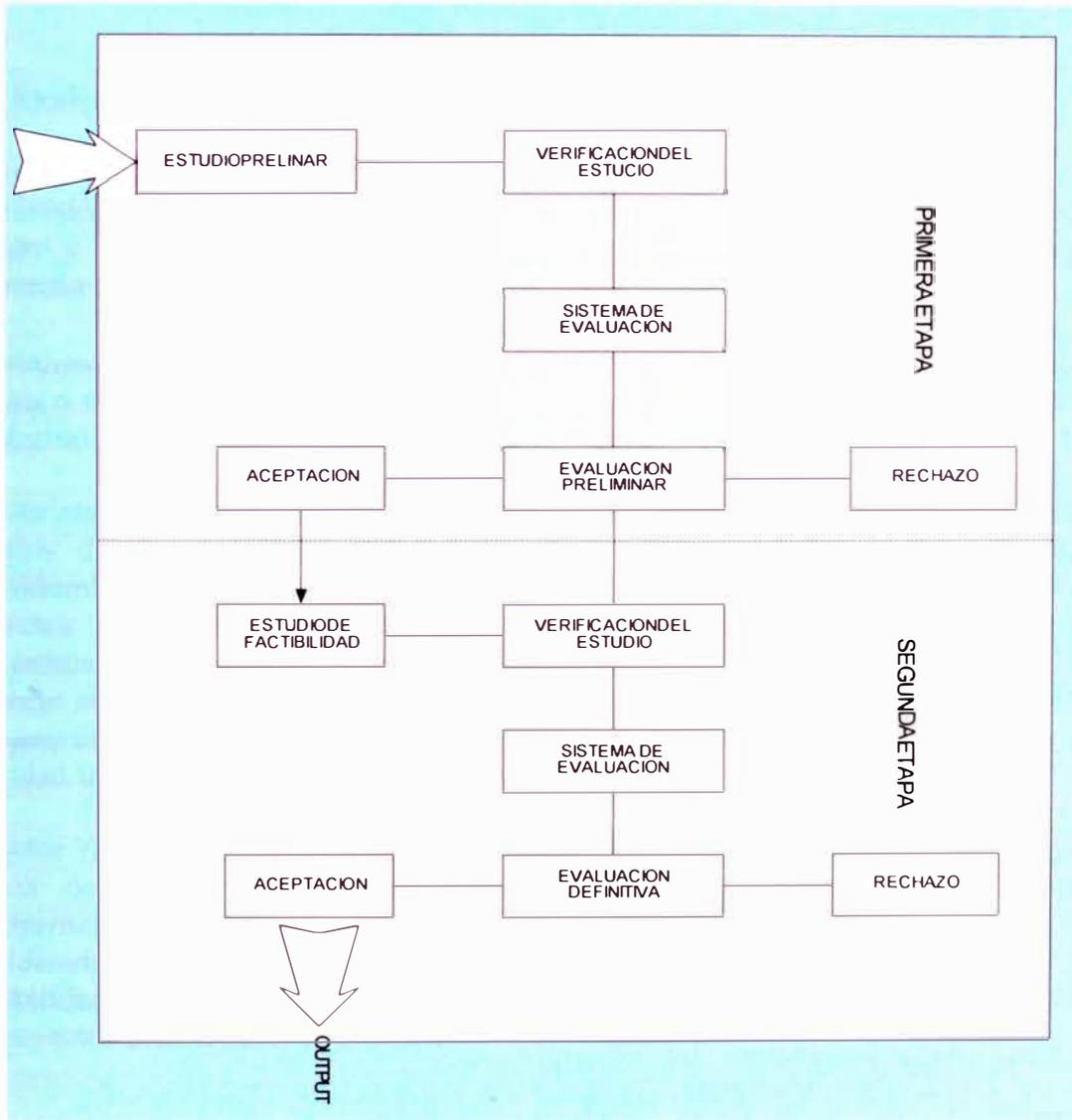


Figura 6.1 Proceso de evaluación de proyectos

El proceso de evaluación de proyectos no es una regla, una norma o un modelo para medir el valor del proyecto, si no más bien un conjunto de procedimientos de orden técnico que permite descartar uno o más proyectos antes de incurrir en costos mayores, ya que los elementos de juicio que participan en cada una de las etapas son determinantes para la toma de decisiones de la inversión. En este sentido el proceso de evaluación de proyectos está conformado por las siguientes etapas:

1. Verificación de los antecedentes del estudio de prefactibilidad.
2. Definición de los indicadores o parámetros de medición.
3. Cálculo matemático de los principales indicadores o parámetros del proyecto.
4. Elección del proyecto específico en función de los criterios técnicos e indicadores, recomendando su aceptación, postergación o rechazo.
5. Selección de proyectos mutuamente excluyentes comparando sus valores a base de dos o más indicadores y realizando el correspondiente análisis de sensibilidad, riesgo e incertidumbre.

6.5 Evaluación definitiva

Consiste en la medición del valor del proyecto y la obtención de una alternativa óptima de inversión, evaluando y comparando el flujo de beneficios y costos proyectados, cuyo cálculo y uso oportuno de los indicadores y parámetros de medición permiten determinar las ventajas o desventajas del proyecto.

La evaluación definitiva de proyectos de inversión es la fase final del proceso de análisis o medición del valor económico y financiero, cuyos resultados permiten tomar la decisión más importante para la materialización del proyecto.

En esta etapa a los elementos de juicio ya mencionados deben complementarse otros criterios de medición del valor del proyecto como la simulación, el riesgo e incertidumbre; cuyas técnicas son aplicadas en forma preferencial para evaluar proyectos basándose en los resultados del estudio y análisis de sensibilidad, dado que este indicador nos señala en que medida serán afectados los índices de precios del producto al variar los costos directos e indirectos del insumo, permitiendo definir otras alternativas de inversión planteadas como hipótesis para la concretización de la actividad frente a cambios de cualquier índole.

El factor riesgo e incertidumbre es un criterio que permite seleccionar una alternativa óptima de inversión, especialmente cuando se trata de proyectos mutuamente excluyentes, dado que establece hasta que punto esa alternativa debe seguir siendo considerada como tal, por lo que es necesario basarnos en los resultados del análisis de sensibilidad, u otros factores de medición probabilística que se utilizan para la selección de proyectos mutuamente excluyentes.

6.6 Tipos de evaluación de proyectos

Según la procedencia de la fuente de financiamiento del capital y la naturaleza u objetivos de proyecto existe la procedencia de la fuente de financiamiento del capital y la naturaleza u objetivos de proyecto existen tres tipos de evaluación de proyectos de inversión.

- Evaluación Social.
- Evaluación Privada.
- Evaluación Ambiental.

Los tipos de evaluación de proyectos tienen un campo de acción ya definidos, en cuyo proceso de medición utilizan técnicas e indicadores de medición en forma similar, existiendo diferencia en la evaluación social y en la evaluación ambiental de proyectos la cual será estudiada en el Capítulo VII de la presente Tesis.

6.6.1 Evaluación social

Es una técnica de evaluación que tiene por objetivo medir el valor del proyecto para la comunidad o sociedad que participa de los efectos indirectos del proyecto; es decir, para la clase social organizada que recibe los beneficios y participa en los costos sociales de los proyectos, siendo afectados por los efectos indirectos del mismo de ser aceptados.

La actualización del beneficio y costo social del proyecto se realiza a precios sociales o precios de sombra, para cuyo cálculo se utilizan los precios de mercado corregidos en un periodo establecido.

Este tipo de evaluación es consecuencia de la formulación de los estudios de factibilidad social, los cuales provienen de los programas de desarrollo económico y social previstos en los planes de desarrollo global.

La evaluación social de un proyecto de inversión es el proceso de medición de su valor base a la comparación de los beneficios sociales generados y los costos sociales incurridos durante el horizonte de evaluación.

La evaluación social, vista como técnica de decisiones es un instrumento de gobierno que facilita al planificador a determinar a un conjunto de decisiones económicas y sociales que optimicen la inversión política, a fin de cumplir con los objetivos, metas, acciones, políticas y estrategias planteadas en los planes de desarrollo de corto, mediano, y largo plazo.

La evaluación social a diferencia de la evaluación económica, permite a la comunidad o sociedad a ser parte activa del proyecto, es decir, tiene acceso a los activos y pasivos del proyecto a fin de conocer los efectos directos e indirectos que sobre ella producirá su aplicación. Consecuentemente, establece las políticas y acciones pertinentes para crear las condiciones necesarias para su ejecución, a fin de ofrecer el grado de estímulo o de desaliento según los efectos del parámetro empleado.

En la práctica no se puede realizar una inversión pública sin conocer los beneficios sociales por unidad de capital social empleado o sin conocer los beneficios y los costos sociales que dicha inversión equivale para una sociedad o comunidad dueña del proyecto. Por tanto, una buena inversión reflejará satisfacción para la comunidad y una mala inversión, descontento para la misma.

Es esta la razón por lo que al evaluar los proyectos del sector público, se utiliza la técnica de parámetros nacionales y la técnica de parámetros específicos, los cuales operan corrigiendo los precios del mercado a precios sociales.

La evaluación se practica por la propia curiosidad de conocer los efectos directos e indirectos que el proyecto producirá a la expectativa de los sistemas de planificación

bajo diferentes modalidades de inversión que permitan a la sociedad o comunidad, consideradas participen del proyecto y conocer los efectos que sobre ella producirá el mismo y, consecuente, establecer una política que conlleve a tomar acciones pertinentes a fin de crear las medidas correctivas y ofrecerles el grado de estímulo o de desaliento según los resultados de la evaluación social.

Los Indicadores Sociales son diversos coeficientes o magnitudes que nos revelan algún aspecto del valor económico y social del proyecto en el ámbito nacional.

Los principales Indicadores Sociales adaptables a la evaluación social son:

1.- Valor Actual Neto Social (VANS)

Conocido como valor actualizado de la corriente social, es la suma algebraica de los valores actualizados de los beneficios y costos sociales generados por el proyecto social durante su horizonte de evaluación.

En un parámetro nacional que indica algún aspecto del valor económico y social del proyecto para la sociedad. Es un indicador eficaz para la selección de proyectos del sector público considerando al aspecto económico y social del mismo.

Cabe mencionar que los beneficios de una empresa pública, son iguales a las diferencias entre sus ingresos y sus costos sociales, así mismo la utilidad de un proyecto nacional es igual a sus ingresos menos el costo social.

El valor actualizado de la corriente social es un indicador eficiente que nos ayuda a determinar una decisión adecuada de interés establecido por las instituciones financieras, por el régimen de mercado de capital para las operaciones de pedir y conceder préstamos.

- **Representación matemática**

Es similar a la presentada para la evaluación privada con la única diferencia de que el cuadro de la corriente de beneficio costo y costos sociales es elaborado a precios de mercado corregido, naturalmente es diferente a la considerada para la evaluación económica y financiera del proyecto privado.

$$VANS = \sum_{t=0}^n \frac{BS_t}{(1+i_t)^t}$$

Donde:

BS_t	=	Beneficios Netos Sociales en el Período t.
i_t	=	Tasa Social de Descuento en el Período t.
n	=	Vida Económica del Proyecto Social.

En general el Valor Actualizado de un proyecto social se representa como:

$$VA(i_1, i_2, \dots, i_n) = \sum_{t=0}^n \frac{B_n}{(1+i_1)^1, (1+i_2)^2, \dots, (1+i_n)^n}$$

• **Interpretación del VANS**

Una vez realizada la evaluación social respectiva la alternativa analizada será óptima si la sumatoria de beneficios netos sociales estimados y actualizados, es mayor que 0, es decir que el VANS >0. En este caso los beneficios brutos sociales cubren los costos sociales esperados.

• **Obtención del VANS**

Se obtiene multiplicando la corriente de beneficios netos sociales por el factor de descuento social o factor de actualización social separadamente para cada año.

La tasa de actualización social debe ser igual a la tasa de interés actual sobre préstamos a largo plazo en un mercado de capitales.

El período de actualización debe ser igual a la duración u horizonte de evaluación del proyecto.

$$VANS = BS_0 + (BS_1 * a_1) + (BS_2 * a_2) + \dots + (BS_t * a_t + \dots + (BS_n * a_n))$$

2.- Tasa de Retorno Social (TRS)

Conocido como tasa de rendimiento social es una tasa de descuento social, que igual al flujo de beneficios y costos sociales de un proyecto de inversión.

• **Representación matemática**

La Tasa de Retorno Social (TRS) se calcula con la siguiente fórmula matemática:

$$TRS = i_1 + \frac{VP(i_2 - i_1)}{VP + VN}$$

Donde:

- TRS = Tasa de Retorno Social.
- VP = Es el VANS (positivo) a la Tasa de Actualización Baja de i_1
- VN = Es el VANS (negativo) a la Tasa de Actualización Alta de i_2
- i_1 = Tasa de Actualización Baja.
- i_2 = Tasa de Actualización Alta.

6.6.2 Evaluación privada

La evaluación privada de proyectos de inversión tiene la finalidad de medir el valor intrínseco del proyecto desde el punto de vista empresarial, es decir, considerando el financiamiento de créditos necesarios para la ejecución de inversiones del proyecto. Es obvio, que evaluar un proyecto privado consiste en valorizar una actividad económica desde algún punto de vista determinado en la vida útil del proyecto.

6.6.2.1 Proceso de evaluación empresarial

Se conoce como proceso de evaluación empresarial a un conjunto de procedimientos de carácter técnico, cuyo manejo sistemático permite medir el valor del proyecto en forma simultánea y secuencial, para cuyo fin, se programan las tareas de evaluación en etapas logrando enlazar entre sí unas tras otras, todos los elementos que participan en dichos proceso.

El proceso de evaluación empresarial es considerado como un flujograma o programa sistemático, que permite realizar la medición del valor del proyecto en forma secuencial y ordenada. Evaluar un proyecto empresarial por etapas tiene como finalidad efectuar un examen más detallado en la etapa final, que consiste en realizar el análisis de sensibilidad, riesgo e incertidumbre y la comparación de proyectos mutuamente excluyentes, para la toma de decisiones respecto a la ejecución o no ejecución del proyecto.

La evaluación empresarial visto como proceso sistemático consiste en realizar un conjunto de acciones en cada etapa, siendo las principales tareas a realizar los siguientes: estimación de ingresos y egresos, elaboración del flujo de caja proyectado, determinación de los indicadores de medición económica y financiera, evaluación preliminar y evaluación definitiva del proyecto, que una vez aprobada conlleva a la ejecución de inversiones y la operación normal de planta.

En la práctica, todo proceso de evaluación empresarial está orientado a la búsqueda de una o más alternativas de inversión, siendo el objeto principal determinar la eficiencia financiera o rentabilidad del proyecto, sobre la base de la comparación de los beneficios generados y los costos incurridos en el horizonte de planeamiento.

La evaluación empresarial consiste en el manejo de un conjunto de técnicas e indicadores que permiten medir el valor del proyecto, siendo los principales indicadores: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Factor de Beneficio Costo (B/C), etc. Siendo el propósito del evaluador de proyectos determinar ciertos elementos de juicio necesarios para la toma de decisiones respecto a la ejecución o no ejecución del proyecto, para cuyo fin debe examinar y actualizar los siguientes aspectos:

- Inversión Inicial (I_0).
- Beneficios (B_t).
- Costos (C_t).

La medición del valor económico o financiero del proyecto se realiza sobre la base de la comparación del flujo de caja económico o el flujo de caja financiero, siendo necesario para ello la elaboración del flujo de caja proyectado, luego se procede con la determinación de los coeficientes o magnitudes mediante el cálculo de los diferentes indicadores de medición y se finaliza con la evaluación preliminar o definitiva del proyecto.

La diferencia de la evaluación empresarial frente a otras técnicas, es que permite medir el valor del proyecto tanto para los accionistas como para la empresa en su conjunto; valorizando económicamente para aquellos proyectos o empresas que cuentan con financiamiento interno y su aspecto financiero para las empresas o proyectos que requieran de créditos externos; siendo necesario en ambos casos conocer las ventajas y desventajas del proyecto, para la toma de decisiones de la ejecución o no ejecución.

6.6.2.2 Técnicas de evaluación

El criterio empresarial respecto a la medición del valor del proyecto, dependiendo si cuenta o no cuenta con financiamiento interno, es utilizar dos tipos de evaluación de proyectos: la evaluación económica y la evaluación financiera. En este sentido, existen dos tipos de indicadores de medición, indicadores económicos e indicadores financieros. El primero, se utiliza para evaluar proyectos que cuentan con financiamiento interno y el segundo, para evaluar proyectos que requieren de crédito o financiamiento externo.

Los indicadores son coeficientes o magnitudes que indican el valor intrínseco del proyecto, que dependiendo de la manera como se comparen los beneficios y costos permiten obtener diversos valores positivos o negativos, cada uno de los cuales indican algún aspecto del valor del proyecto, siendo éstos de carácter económico o financiero.

Los indicadores que miden el coeficiente o magnitud económica son:

- Valor Actual Neto Económico (VANE).
- Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE).
- Coeficiente Beneficio/Costo Económico (B/C).
- Factor Anual Equivalente Económico (FAE).

Los indicadores que miden el coeficiente o magnitud financiero son:

- Valor Actual Neto Financiero (VANF).
- Tasa Interna de Retorno Financiero (TIRF).
- Factor Anual Equivalente Financiero (FAE).

6.6.2.3 Evaluación económica

Es una técnica que permite medir el valor económico del proyecto sin considerar su financiamiento, es decir, sin examinar la procedencia de los créditos de capital ni el aporte de los accionistas.

La evaluación económica consiste en comparar los beneficios del proyecto asociados a los fondos que provienen del tesoro público y su respectiva corriente de desembolso de gastos provenientes del estado.

Este tipo de evaluación se caracteriza por considerar los criterios o factores económicos para determinar y clasificar las alternativas de inversión, previa a la decisión de ejecución o no ejecución de las obras públicas, cuyo cálculo del flujo de beneficios y costos se realiza a precios de mercado corregidos.

6.6.2.4 Evaluación financiera

Es una técnica para evaluar proyectos que requieren de financiamiento de créditos, como tal, permite medir el valor financiero del proyecto considerando el costo del capital financiero y el aporte de los accionistas. Evaluar un proyecto de inversión desde el punto de vista financiero o empresarial consiste en medir el valor del proyecto incluyendo los factores de financiamiento externo, es decir, tener presente las amortizaciones anuales de la deuda y los intereses del préstamo en el horizonte de planeamiento.

Este tipo de evaluación permite comparar los beneficios que genera el proyecto asociado a los fondos que provienen de los préstamos y su respectiva corriente anual de desembolsos de gastos de amortización e intereses. La evaluación financiera de **proyectos** de inversión se caracteriza por determinar las alternativas factibles u óptimas **de** inversión utilizando los siguientes indicadores:

- 1.- El Valor Actual Neto Financiero (VAN).
- 2.- La Tasa Interna De Retorno Financiero (TIR).
- 3.- Factor Beneficio/Costo (B/C).

Estos indicadores son suficientes para decidir la ejecución o no ejecución del proyecto y su posterior implementación de la actividad productiva o de servicio. Cabe destacar, que evaluar un proyecto de inversión bajo los principios de evaluación financiera radica en considerar el costo del dinero en el tiempo y el valor de emisión de las acciones de la empresa, cuyo procedimiento permite conocer la verdadera dimensión de la inversión total frente a los gastos financieros del proyecto, que está compuesto por la amortización anual de la deuda y la tasa de interés del préstamo.

En síntesis, la evaluación financiera permite medir el valor del proyecto considerando el financiamiento de créditos y el aporte de los accionistas, siendo el criterio utilizado por algunos tratadistas para este tipo de evaluación la razón "beneficio/costo", que se calcula a precios de mercado y mide los efectos directos del proyecto en un momento dado.

6.6.2.5 Factores económicos de medición

Dentro de las finanzas privada o empresarial, los factores económicos son tratados por la ingeniería económica, la cual se ocupa de la relación de técnicas de la matemática

financiera con el fin de simplificar las comparaciones económicas del proyecto o empresa.

La matemática financiera permite conocer y determinar los diferentes factores económicos que calcula el valor del dinero en el tiempo y el costo de capital en un momento dado. En las finanzas empresariales la matemática financiera sirve para determinar los diferentes factores económicos que condicionan el cálculo del valor del dinero y el costo de capital.

El costo de capital es el promedio ponderado de sus costos de oportunidad y la tasa de interés de los componentes de dicho capital.

El costo de oportunidad del capital es una tasa de interés referencial que sirve para determinar los beneficios extraordinarios de un proyecto de inversión respecto a la mejor alternativa especulativa de igual riesgo.

En efecto, se trata de una alternativa “especulativa” y no de otro proyecto ya que una comparación de este tipo dejaría de lado la posibilidad de que ambos proyectos sean malos frente a la alternativa de depositar el dinero en el banco. Asimismo, resulta muy importante que la alternativa contra la que se evalúa el proyecto sea de igual riesgo, para garantizar una comparación homogénea, más aún si se tiene en cuenta que la tasa de descuento debe ser directamente proporcional al nivel de riesgo del proyecto.

El capital que será invertido en un proyecto puede provenir de fuentes de financiamiento de origen interno o externo. De este modo, el costo de oportunidad del capital se puede separar en:

- a) El costo del capital propio. Es aquél que sólo incorpora el costo en el que incurre el inversionista por dejar de invertir en proyectos alternativos para iniciar un nuevo proyecto.
- b) El costo del capital prestado. Es el interés que tiene que pagar el inversionista por el capital al que comúnmente tiene acceso o al que potencialmente puede recurrir

El cálculo de los factores económicos se realiza en términos de seis notaciones, expresiones o fórmulas matemáticas que permiten conocer el circuito económico. Por ejemplo, se dice que existe factor de capitalización cuando el capital principal en forma periódica, dado en virtud de dicho aumento la tasa de interés se aplica en cada nuevo período.

Por el contrario, se dice que se realiza una operación de actualización, cuando a la cantidad que se debe pagar o recibir en el futuro se le disminuye el monto de interés, que al acumularse en forma periódica se constituye en un capital actualizado, hasta identificar el capital inicial que le dio origen.

6.6.2.6 Fórmulas de los factores económicos

El cálculo de los factores económicos se realiza con las técnicas de la matemática financiera, que por lo general se basa en seis expresiones o fórmulas, los cuales permiten al analista económico y evaluador de proyectos manejar en forma apropiada el valor del dinero en el tiempo y el costo de oportunidad del capital; asimismo permite la correcta aplicación de las seis fórmulas matemáticas para calcular los siguientes factores económicos:

1. Factor Simple de Capitalización (FSC).
2. Factor Simple de Actualización (FSA).
3. Factor de Capitalización de la Serie (FCS).
4. Factor de Depósito al Fondo de Amortización (FSFA).
5. Factor de Recuperación del Capital (FRC).
6. Factor de Actualización de la Serie (FAS).

1.- Factor Simple de Capitalización (FSC)

Denominado como capitalización continua a factor de interés compuesto, es el valor máximo que alcanza una cantidad de capital inicial que crece a un interés compuesto y se transforma en un capital final.

Este componente sirve para transformar un stock inicial de efectivo en un stock final de efectivo.

Cabe aclarar, que en matemática financiera todo está dicho, por tanto, las siglas originales en inglés según George A. Taylor, significa “Single-Payment Compound-Amount Factor”, que en español Taquín y Blank denominan como “Factor Cantidad Compuesta de Pago Único”.

- **Representación matemática**

$$SPCAF = FSC(1 + i)^n$$

2.- Factor Simple de Actualización (FSA)

Conocido como factor de descuento o tasa de actualización, es el valor actualizado del capital en una fecha futura. Este componente sirve para transformar un stock final de efectivo en un stock inicial de efectivo o capital principal.

Las siglas en inglés significa “Single-Payment Present Worth Factor”, que en español se conoce como “Factor Valor Presente de Pago Único”.

- **Representación matemática**

$$SPPWF = FSA = \frac{1}{(1+i)^n}$$

3.- Factor de Capitalización de la Serie (FCS)

Conocido como factor de capitalización de una serie uniforme, es el valor actual que se recibe o paga en forma anual durante un período dado. Este componente sirve para transformar un flujo constante de efectivo en un stock final de efectivo. La sigla original proviene del inglés “Uniform Series Compound Amount Factor”, que en español significa “Factor Cantidad Compuesta de Serie uniforme”.

- **Representación matemática**

$$USCAF = FCS = \frac{(1+i)^{n-1}}{i}$$

4.- Factor de Depósito de Fondo de Amortización (FDFA)

Conocido como factor de fondo de amortización, es el monto de dinero que se destina para depósito uniforme anual que es necesario cumplir anualmente. Este componente sirve para transformar un stock final de efectivo en un flujo constante, siendo éste un proceso inverso del FCS. La sigla en inglés significa “Sinking Fund Deposit Factor”, siendo denominado por otros tratadistas como “Factor Fondo de Amortización”.

- **Representación matemática**

$$SFDF = FDFA = \frac{i}{(1+i)^n - 1}$$

5.- Factor de Recuperación de Capital (FRC)

Es el pago anual que se programa para cancelar el préstamo en el período establecido, con interés compuesto sobre el saldo no reembolsado. El Factor de Recuperación de Capital es un proceso inverso al Factor de Actualización de la Serie, como tal transforma un stock inicial de efectivo en un flujo constante. El flujo, es una sucesión de cantidades de dinero a través de períodos de tiempo. La sigla en inglés significa “Capital Recovery Factor”.

- **Representación matemática**

$$CRF = FRC \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

6.- Factor de Actualización de la Serie (FAS)

Conocido como factor de serie uniforme cantidad compuesta, es aquel monto de efectivo que aumenta con los depósitos uniformes a fin de cada año, cuyo crecimiento se registra a interés compuesto anualmente. Este factor sirve para transformar un flujo constante en un stock inicial de efectivo, siendo conocido en inglés como “Uniform Series Present-Worth Factor” y denominado por Taquín como “Factor Valor Presente de Serie Uniforme”.

- **Representación matemática**

$$USPWF = FAS = \frac{(1+i)^{n-1}}{i(1+i)^n}$$

6.7 Técnicas de evaluación temporales

Lo expuesto anteriormente, ha tratado de describir los elementos fundamentales de la evaluación de proyectos de inversión, básicamente lo relacionado con las generalidades, conceptos de evaluación, tipos y proceso de evaluación de proyectos, es decir, aquellos criterios que son considerados como información básica para iniciar cualquier trabajo de evaluación de proyectos de inversión pública y privada.

El propósito es analizar los indicadores o técnicas de evaluación de proyectos que son utilizados para comparar los beneficios y costos proyectados que son utilizados para comparar los beneficios y costos proyectados y medir el valor del proyecto a través de los flujos descontados.

La revisión de las técnicas de evaluación de proyectos consiste en analizar los indicadores de evaluación como el VAN, la TIR, el B/C y el FAE, estos indicadores permiten determinar las diferentes alternativas de inversión, previa a la toma de decisiones de la ejecución o no ejecución del proyecto. Es obvio, que el uso de estos indicadores de evaluación esta sujeto al nivel del proyecto y a la magnitud de la inversión privada.

Indudablemente, en la práctica las técnicas de evaluación de proyectos son utilizadas con dos propósitos fundamentales; primero, para tomar una decisión de aceptación o rechazo del proyecto o estudio específicos; segundo, para decidir la clasificación o elección de la alternativa factible u óptima de inversión, cuando se tratan de varios proyectos mutuamente excluyentes.

6.8 Indicadores para evaluar proyectos

Los indicadores son considerados como coeficiente o magnitud de medición de algún aspecto del valor del proyecto de inversión, sobre la base de la comparación de beneficios y costos proyectados, cuyos resultados permiten clasificar y elegir las diferentes alternativas de inversión destinados a la producción económica de bienes y servicios.

Asimismo, los indicadores son utilizados para clasificar las diferentes alternativas de inversión de varios proyectos mutuamente excluyentes, en este sentido, los indicadores más eficaces para medir el valor del proyecto son los siguientes:

1. Valor Actual Neto (VAN).
2. Tasa Interna de Retorno (TIR).
3. Razón Beneficio Costo (B/C).
4. Flujo Anual Equivalente (FAE).

El manejo apropiado de estos indicadores es potestad de los evaluadores de proyectos, los cuales tienen la misión de realizar la evaluación de proyectos provenientes del sector público o privado, a fin de recomendar a base de estos coeficientes el ordenamiento y selección de las alternativas de inversión de proyectos específicos y mutuamente excluyentes.

6.8.1. Valor Actual Neto (VAN)

Es un indicador eficaz para medir el valor actualizado de un proyecto específico y realizar la clasificación o selección de la alternativa óptima de inversión de varios proyectos mutuamente excluyentes.

Este indicador representa el valor actualizado o presente del proyecto en su vida útil de operación, cuyos resultados permiten tomar la decisión respecto a su aceptación o rechazo a base de los siguientes coeficientes o magnitudes:

- a) $VAN > 0$
- b) $VAN = 0$
- c) $VAN < 0$

La evaluación de proyectos basado en los valores actualizados del flujo neto de fondos, proporciona una base confiable para determinar la alternativa óptima de inversión, frente a otros métodos que presentan mayor dificultad para el análisis e interpretación del valor del proyecto; asimismo, el uso de este indicador permite considerar la magnitud y oportunidad de inversión a través del flujo de fondos previstos para el horizonte de planeamiento.

El VAN es un indicador que permite seleccionar con exactitud la alternativa factible u óptima de inversión, cuando se trata de un grupo de proyectos mutuamente excluyentes.

• **Definición del VAN**

El Valor Actual Neto (VAN), se define como la diferencia de la sumatoria de los beneficios y la sumatoria de los costos que son actualizados a una tasa de interés fija, menos la inversión en el momento cero. Es la suma algebraica de los valores actualizados del flujo neto de fondos del proyecto en el horizonte de planeamiento, menos la inversión en el año base.

• **Representación matemática del VAN**

Existen tres formas de representación matemática del Valor Actual Neto del proyecto para realizar los cálculos correspondientes; pero las tres maneras conducen a una misma respuesta, por lo tanto, el uso de una u otra fórmula dependerá de la decisión del evaluador de proyectos.

a.- La primera representación del VAN consiste en una expresión matemática con sumatorias desagregadas de beneficios y costos del proyecto, el cual permite calcular el valor actual neto en forma detallada, siempre y cuando se cuente con datos referentes a beneficios generados, costos incurridos e inversión en el momento cero en el horizonte de planeamiento, contando con dichos datos se puede calcular el VAN del proyecto a través de la siguiente fórmula:

Expresión Matemática:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} - I_0 \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

- VAN = Valor Actual Neto.
- B_t = Beneficios en el Período t.
- C_t = Costos en el Período t.
- I₀ = Inversión Inicial en el Momento 0.
- i = Tasa de Rendimiento Requerida.
- t = Período de Tiempo.
- n = Número de Períodos en la Vida Útil.

b.- La segunda expresión consiste en simplificar la operación matemática en una sola sumatoria, la cual permite calcular el VAN del proyecto con mayor rapidez mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

Expresión Matemática:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} - I_0 \dots\dots\dots(2)$$

c.- La tercera manera de obtener el VAN del proyecto consiste en actualizar el flujo de beneficios netos, para cuyo fin se multiplican por el factor de descuento correspondiente, siendo necesario contar con datos del flujo de caja proyectado para simplificar la operación de cálculo y utilizar la siguiente fórmula:

Expresión Matemática:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+i)^n} - I_0 \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

- VAN = Valor Actual Neto.
- BN_t = Beneficio Neto en el Período t.
- I₀ = Inversión Inicial.
- i = Tasa de Rendimiento Requerida.
- t = Períodos de Tiempo.
- n = Número de Períodos.

• **Cálculo del VAN**

El cálculo del Valor Actual Neto de un proyecto requiere del conocimiento cabal de la inversión en el año base, los beneficios generados y los costos incurridos del proyecto, que conociendo la tasa de descuento correspondiente de cada período permiten calcular el valor actualizado en la vida útil del proyecto.

La inversión en el año base, es aquella que se realiza en el momento cero, que por lo general consiste en la asignación de recursos financieros para la ejecución de obras físicas y servicios básicos del proyecto.

Los costos del proyecto, son expresiones anticipadas del valor monetario estimado de los recursos reales y financieros, los cuales son necesarios para efectivizar el proceso de ejecución del proyecto en las diferentes etapas. Los costos se conforman por cuatro elementos básicos, ellos son:

- Costos de fabricación.
- Gastos de operación.
- Gastos financieros.
- Otros gastos.

Los beneficios del proyecto, son cálculos anticipados de los ingresos por venta de productos, venta de subproductos y otros ingresos de operación, cuya suma algebraica se conoce como beneficio bruto, que una vez deducido los costos, la depreciación y los impuestos se transforman en beneficios netos.

La tasa de actualización, conocido por algunos expertos como tasa de descuento, es un factor que permite actualizar el valor del proyecto en el horizonte de planeamiento o en su vida útil cuya tasa se encuentra registrada en la segunda columna de las tablas financieras como “factor de paso simple valor actual”. Esta tasa, es un coeficiente o magnitud que nos permite actualizar el flujo de costos y el flujo de beneficios del proyecto en el horizonte de planeamiento.

En la práctica, existe una manera más sencilla para calcular el VAN de un proyecto, siempre en cuando se maneje el flujo de caja proyectado. En este caso, se debe adecuar la fórmula (3) empleando el Factor de Descuento (Factor Simple de Actualización) con la respectiva tasa de descuento “i”. Por lo tanto de la fórmula (3) se tiene:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+i)^n} - I_0$$

Asignando el valor correspondiente a la expresión:

$$\frac{1}{(1+i)^n} = f = \text{Factor de Descuento},$$

Donde i = Tasa de descuento.

Desarrollando la fórmula (3) se tiene:

$$VAN = BN_0 \frac{1}{(1+i)^0} + BN_1 \frac{1}{(1+i)^1} + \dots + BN_t \frac{1}{(1+i)^t} + \dots + BN_n \frac{1}{(1+i)^n} - I_0$$

Reemplazando el correspondiente Factor de Descuento “f” se tiene la siguiente fórmula:

$$VAN = BN_0 + BN_1(f_1) + \dots + BN_t(f_t) + \dots + BN_n(f_n) - I_0 \dots \dots \dots (4)$$

• **Interpretación del VAN**

Los valores actualizados del flujo neto de beneficios o del flujo de beneficios y costos del proyecto, permiten la obtención de los siguientes coeficientes:

- ⇒ $VAN > 0$, significa que el valor actual neto del proyecto es mayor que cero, este equivale a decir que los beneficios generados son superiores a los costos incurridos por el proyecto; es decir, que después de cumplir con las obligaciones incurridas por el proyecto, queda un saldo favorable para el inversionista, por tanto, se acepta el estudio y se procede con la ejecución inmediata.
- ⇒ $VAN = 0$, significa que el valor actual neto es igual a cero, es decir, que los beneficios del proyecto son iguales a sus costos, en este caso se recomienda examinar algunas variables para su posterior evaluación.
- ⇒ $VAN < 0$, significa que el valor actual neto es menor que cero, en este caso, los beneficios del proyecto son inferiores a sus costos, por lo que se desecha el proyecto.

• Representación gráfica del (VAN)

La expresión gráfica de las curvas del Valor Actual Neto VAN, indicando la curva del VAN económico y la curva del VAN financiero se muestra en la Figura 6.2.

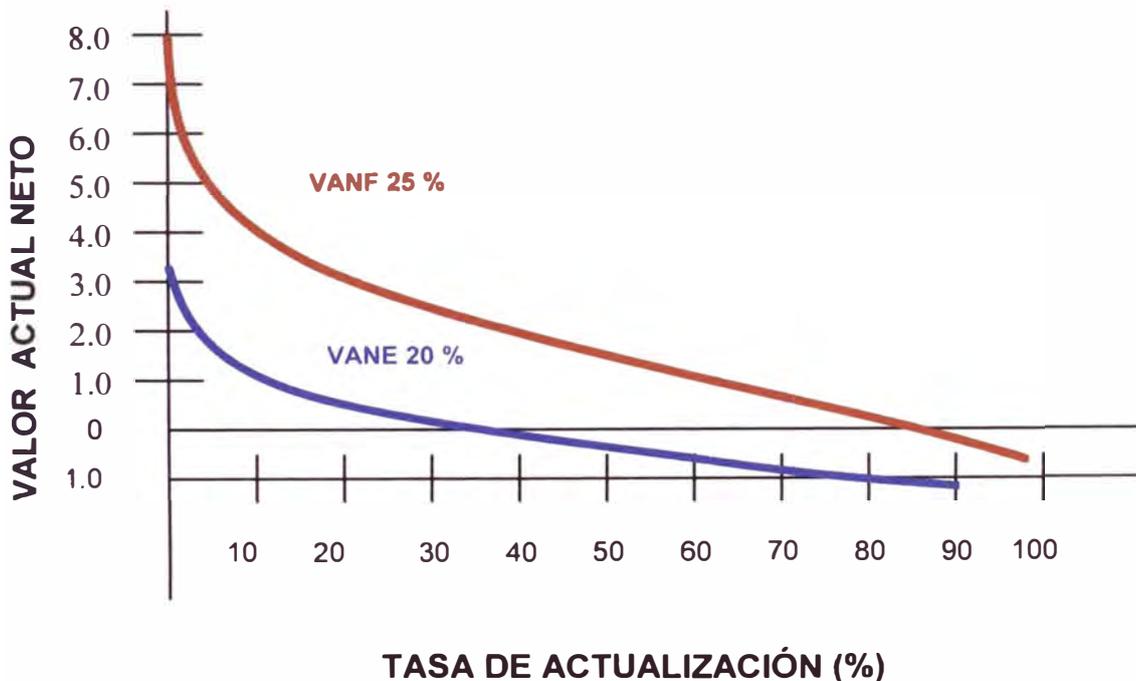


Figura 6.2 Curvas del Valor Actual Neto

El Valor Actual Neto Económico VANE, es aquel que refleja la rentabilidad del proyecto sin incluir el financiamiento, para la cual se debe utilizar la tasa de descuento económica. Los flujos se establecen de acuerdo a la vida útil del proyecto y se actualizan conforme a determinadas tasas de descuento.

El Valor Actual Neto Financiero VANF, es aquel que refleja la rentabilidad del proyecto considerando el efecto de endeudamiento, para la cual se debe utilizar la tasa de descuento financiera. Los flujos se calculan a partir de los precios de mercado denominados flujos financieros.

• Ventajas del (VAN)

Las ventajas del uso del VAN en la determinación de las alternativas de inversión son los siguientes:

- ⇒ Posibilita de una manera simple y exacta el valor actualizado de los beneficios y costos del proyecto en el horizonte de planeamiento.
- ⇒ Permite calcular el costo de oportunidad del capital, cuyo coeficiente permite aceptar, postergar o rechazar un proyecto.
- ⇒ Es un indicador eficaz para la selección de proyectos mutuamente excluyentes en función a su rentabilidad.
- ⇒ Forma criterios para determinar la alternativa factible u óptima de inversión.
- ⇒ Permite graficar las curvas del VAN.

La única desventaja del Valor Actual Neto (VAN) consiste en que su aplicación presenta dificultad para determinar la tasa de actualización elemento que juega un papel importante para realizar dicho cálculo.

Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) de una serie de flujos de efectivo dada es el valor equivalente de los flujos de efectivo al final del año cero (es decir, al principio del primer año); es similar al Valor Actual Neto (VAN), la principal diferencia es que el VAN permite que los flujos variables de caja comiencen al final o al principio del período, en cambio los flujos de caja en el VAN deben permanecer constantes. Para el caso de capitalización anual se tiene la siguiente ecuación:

$$VPN = - FE_0 + \sum FE_j (P/F, i\%, j) \dots\dots\dots(5)$$

En donde la notación hace hincapié en la suposición de que el desembolso de capital denominado Flujo Efectivo Inicial, (FE_0), es negativo. No se hace ninguna suposición respecto a los signos de los Flujos Efectivos Restantes (FE_j), aún cuando con frecuencia estos términos serán todos positivos (ingresos). En el caso especial de que $\sum FE_j = A$, ($j= 1,2,\dots\dots,n$), la ecuación (5) se convierte en:

$$VPN = - FE_0 + A (P/A; i\%, n) \dots\dots\dots(6)$$

En la Ecuación (5) se puede observar que el VPN será positivo si el valor total de los ingresos $\sum FE_j = A$ (flujo de dinero llevado al año 0), excede la cantidad invertida FE_0 (dinero del año cero); dicho de otra manera, cuando la cantidad original ganando interés compuesto a una tasa i por n años sea insuficiente para generar los rendimientos. Para que una inversión propuesta sea económicamente aceptable, el VPN debe ser positivo o, en el peor de los casos igual a cero (en cuyo caso, la inversión FE_0 apenas sería suficiente para generar los ingresos FE_j).

6.8.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Algunos especialistas en evaluación de proyectos, denominan a la Tasa Interna de Retorno (TIR) como:

- Tasa Financiera de Rendimiento.
- Tasa de Rendimiento Real.
- Tasa de Retorno Efectivo.
- Eficiencia Marginal del Capital.
- Tasa Interna de Recuperación.

Es un indicador de evaluación que mide el valor del proyecto frente al costo de oportunidad de la inversión, considerando el concepto del valor del dinero en el tiempo.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) se caracteriza por su procedimiento de cálculo, que consiste en encontrar un tipo de interés mediante el cual se consiga que el Valor Actual Neto (VAN) sea igual cero.

La TIR de un proyecto se puede calcular por el método de tanteos, que consiste en probar sucesivamente tasas de descuento que aproximen el VAN hacia cero. Para encontrar la tasa de descuento que iguala el VAN a cero, se recurre a la ayuda de las técnicas de interpolación y extrapolación de valores del VAN, que permite acercarse inmediatamente al verdadero valor de la TIR del proyecto utilizando la siguiente formula:

$$TIR = i_1 + \frac{VAN_1(i_2 - i_1)}{VAN_1 + VAN_2} \dots\dots\dots(7)$$

Donde:

TIR	Tasa Interna de Retorno.
VAN_1	Valor Actual Neto Positivo.
VAN_2	Valor Actual Neto Negativo.
i_1	Tasa de Descuento Bajo.
i_2	Tasa de Descuento Alto.

• Definición de la (TIR)

La Tasa Interna de Retorno TIR, es aquella tasa de descuento para la cual el valor actualizado de los beneficios y costos del proyecto resulta igual a cero. También se define como aquel factor de actualización tal como “r” para el cual el valor actual neto resulta igual a cero.

Representación Matemática:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^n} = 0 \dots\dots\dots(8)$$

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+r)^n} = 0 \dots\dots\dots(9)$$

Donde:

- B_t = Beneficio Bruto en el Período t.
- C_t = Costos en el Período t.
- r = Tasa Interna de Retorno TIR.
- BN_t = Beneficio Neto en el Período t.
- t = Período de Tiempo.
- n = Número de Períodos.

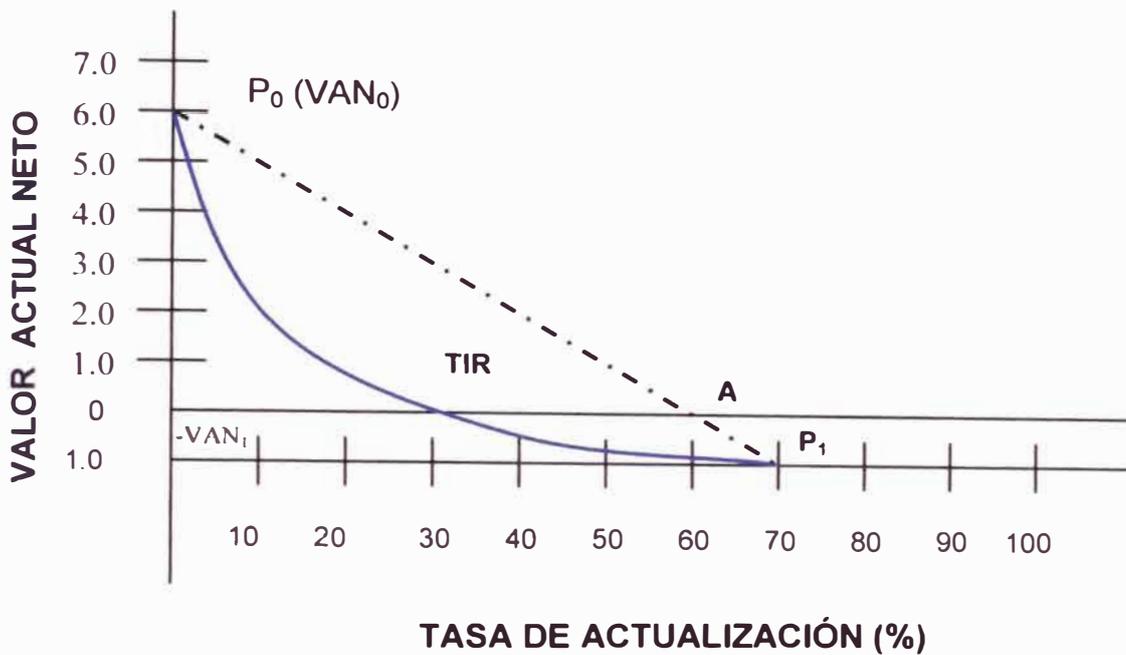
• Interpretación de la TIR

Si definimos que la Tasa Interna de Retorno TIR es igual a “r” y la rentabilidad mínima aceptable del capital bancario igual a “i”; el análisis e interpretación del proyecto sobre la base de la TIR tendrá la siguiente calificación:

- ⇒ Proyecto con $r > i$, equivale decir que el interés equivalente sobre el capital que el proyecto genera, es superior al interés mínimo aceptable del capital bancario, en este caso el proyecto es aceptable por lo que se recomienda su inmediata ejecución.
- ⇒ Proyecto con $r = i$, nos indica que el interés equivalente sobre el capital que el proyecto genera es igual al interés mínimo aceptable, en este caso el proyecto es indiferente ya que su costo de oportunidad de capital es igual al costo de capital bancario.
- ⇒ Proyecto con $r < i$, esto equivale a decir que el costo de oportunidad del capital es inferior al costo de capital bancario, lo cual indica que el rendimiento del proyecto es menor al que se obtendría en otra alternativa de inversión, en este caso se recomienda la no ejecución del proyecto.

• Representación gráfica de la TIR

Proviene del concepto teórico de la Tasa Interna de Retorno TIR y del manejo adecuado de la tasa de descuento. Así, cuando la tasa de descuento es $i = 0$ produce VAN_0 y si la tasa de descuento es $i = 1$ genera VAN_1 . De esta manera se forman los puntos P_0 y P_1 , por los cuales pasa una línea recta, cuya intersección con el eje de las abscisas “i” en el punto A, es un valor de la tasa de descuento cercano a la TIR como lo muestra la Figura 6.3. Por definición, dicha intersección corresponde al valor de la TIR, ya que en dicho punto el VAN se hace igual a cero.



Indudablemente, existe una inquietud en saber a qué tasa de interés constante el VAN del proyecto sería igual a cero, es decir, para qué “r” tendríamos $VAN = 0$. La respuesta proviene el uso de métodos de cálculo de la TIR que consiste en encontrar una tasa de descuento tal como “r” que permite que el VAN sea igual a cero; esto es perfectamente posible ya que el VAN de un proyecto puede llegar a cero a más de una tasa tal como “r”. Generalmente, la comparación del VAN y la TIR se realiza para seleccionar proyectos mutuamente excluyentes; en caso de proyectos específicos, no tiene ningún objeto su comparación, ya que tanto el VAN como el TIR casi siempre darán respuestas positivas o negativas en forma inmediata, siendo necesaria su comparación sólo para el análisis económico y financiero.

En líneas generales, el Valor Actual Neto (VAN) es una guía más útil que la TIR, siempre y cuando el proyecto cuente con capital propio para su financiamiento, mientras que la Tasa Interna de Retorno (TIR), es más apropiada para evaluar proyectos que requieren de créditos para su financiamiento.

EL VAN es un parámetro que mide el valor presente del flujo de beneficios netos o ganancias netas, mientras que la TIR no representa dicha medida.

EL VAN es un indicador sencillo y recomendable para la inversión pública a través de donaciones, aún cuando la tasa de descuento que se usará no será necesariamente la tasa de interés del mercado; mientras que la idea de seleccionar proyectos con una TIR más alta que la tasa de interés existente en el mercado, no es siempre aconsejable para todos los proyectos públicos.

En definitiva, tanto el VAN como la TIR parten de diferentes supuestos respecto a la tasa de rendimiento producida por la reinversión de fondos que son liberados o que se han producido con el proyecto.

El método de la Tasa Interna de Retorno (TIR), implica que los fondos liberados ganan la misma tasa al ser reinvertidos en el proyecto. En cambio el método de Valor Actual Neto (VAN), implica que la reinversión se realiza a la tasa de corte utilizada como factor de descuento.

Según este análisis, podemos formular la siguiente pregunta: ¿Cuál es el mejor método para la selección de alternativas de inversión?. La respuesta sobre la elección entre uno y otro indicador dependerá de los objetivos del ente ejecutor, de la naturaleza del proyecto y la magnitud de la inversión.

6.8.3 Razón Beneficio/Costo (B/C)

La razón Beneficio/Costo (B/C), es un parámetro muy parecido al valor actual neto en su expresión y medida de valor, pero puede conducir a errores de interpretación al igual que cualquier método de evaluación si el especialista cuenta con criterios deficientes y no cuenta con el manejo apropiado.

• **Definición.**

La razón Beneficio/Costo (B/C), es el cociente que resulta de dividir la sumatoria de los beneficios entre la sumatoria de los costos del proyecto, actualizados a una tasa de interés fijo.

También se puede definir operacionalmente a través de la modalidad de cálculo como la división entre el producto de los beneficios y los costos del proyecto actualizados por el factor de descuento.

Representación Matemática:

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^n}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^n}} \dots\dots\dots(10)$$

Donde:

- B_t = Beneficios en el Período t.
- C_t = Costo en el Período t.
- i = Tasa de Rendimiento.
- n = Número de Períodos.

$$B/C = \frac{(B_1)(f_1) + (B_2)(f_2) + \dots\dots + (B_t)(f_t)}{(C_1)(f_1) + (C_2)(f_2) + \dots\dots + (C_t)(f_t)} \dots\dots\dots(11)$$

• **Interpretación de la razón B/C**

El cálculo de la razón B/C implica la deducción previa de la tasa de descuento equivalente a la tasa de costo de oportunidad de la inversión y el valor de los beneficios que expresa el valor bruto de las ganancias recibidas por el empresario por cada unidad monetaria asignada como costos y gastos del proyecto.

La interpretación del parámetro proviene de operar la razón beneficio/ costo, compuesto por flujos positivos (Beneficios) y flujos negativos (Costos) de cuyos resultados se obtienen los siguientes indicadores:

- ⇒ Razón Beneficio/Costo mayor que uno, ($B/C > 1$), equivale decir que el valor de los beneficios son superiores a los costos del proyecto, por tanto, la regla de decisión sería aceptar el proyecto y recomendar la ejecución de inversiones.
- ⇒ Razón Beneficio/Costo igual a uno, ($B/C = 1$), equivale a decir que los beneficios del proyecto son iguales a sus costos, en este caso es indiferente aceptar o rechazar el proyecto; pero antes de decidir por una u otra decisión es recomendable realizar algunos ajustes y volver evaluar el proyecto.
- ⇒ Razón Beneficio/Costo menor que uno, ($B/C < 1$), equivale a decir que el valor de los beneficios es inferior a los costos del proyecto, en este caso particular la decisión es desechar el proyecto.

• **Análisis de costos-beneficios en proyectos de desarrollo**

El análisis de proyectos ayuda a los planificadores económicos a elegir alternativas competitivas de usos de recursos y presentarlas en un plan comprensivo. Toda propuesta de proyecto debe pasar cinco pruebas de viabilidad:

1. Viabilidad ingenieril. El proyecto propuesto debe realizar la función deseada.
2. Viabilidad financiera. Debe contarse con suficientes fondos para pagar la instalación y la operación del proyecto.
3. Viabilidad política. Los planificadores deberán obtener la aprobación política requerida.
4. Viabilidad social. Los posibles usuarios deben reaccionar favorablemente al proyecto.
5. Viabilidad económica. Los beneficios totales resultantes del proyecto deben exceder aquellos que tendrían cuando no hubiera el proyecto.

Antes de evaluar la viabilidad económica de un proyecto público, los planificadores deben cerciorarse de la prioridad del proyecto para el desarrollo del país. En el análisis de costos-beneficios, los especialistas examinan los costos y beneficios de proyectos alternativos con los siguientes pasos:

1. Determinación de objetivos y limitaciones.
2. Especificaciones de medios alternativos de lograr esta meta.
3. Estimación de costos de cada proyecto.
4. Estimación de beneficios de cada proyecto.
5. Selección del mejor proyecto.

Los planificadores pueden medir beneficios y costos tan solo con respecto a una meta específica tal como maximización o redistribución de los ingresos nacionales. Una vez comprometidos a un proyecto particular, los recursos ya no pueden servir para otros fines.

• **Medición de costos-beneficios**

Los costos del proyecto comprenden: costos de capital, que incluyen pago a contratistas, materias primas, equipo y terreno; costos de construcción, que incluyen todos los

trabajos y materiales; y costos anuales, que cubren costos de mantenimiento, repuestos, operación y administración.

El impacto del proyecto en el objetivo final, comparado con la situación que existiría sin el proyecto, muestra el beneficio resultante (si lo hay). El análisis de costos-beneficios de un proyecto de inversión puede engañar a los que basan sus cálculos en precios del mercado, pues hay diversas clases de desequilibrios estructurales en la mayoría de los países en desarrollo.

El que los precios del mercado no midan la relativa escasez de productos acabados o factores de producción es resultado de numerosas interferencias en el funcionamiento de los mercados interior y exterior, la escasez de divisas a los tipos de cambio existentes, y al alto índice de desempleo de la mano de obra inexperta a los salarios existentes en el mercado. El proceso de planificación no debe pasar por alto estos "precios ocultos".

Se puede definir "precio oculto" como el valor de la productividad marginal cuando la técnica de producción elegida produce el máximo rendimiento en las circunstancias particulares (disponibilidad de recursos, forma de la demanda final y posibilidades tecnológicas de producción). Los precios ocultos aseguran la eficiente utilización de los escasos factores de producción existentes.

La estimación económica exacta debe incluir el cálculo de parámetros tales como precios ocultos de mano de obra, tipos de cambio ocultos, costo de la oportunidad social de capital y los precios ocultos de proyectos acabados.

- **Costo social de la mano de obra**

Es difícil calcular el costo real de la mano de obra en países en desarrollo. El costo real de un factor de producción es el costo de oportunidad. El costo de la mano de obra es igual al sacrificio que se incurre al usar este factor para otro fin. Sin embargo, existe controversia sobre la evaluación del costo de oportunidad de la mano de obra.

La otra opinión asume subempleo en vez de desempleo de la mano de obra. En otras palabras, la mano de obra potencial excede la usada actualmente. ¿Cuál es el costo social del empleo de esta mano de obra excedente?. El empleo de mano de obra excedente en un nuevo uso productivo hace que parezca gratuitamente.

No obstante, la productividad marginal no permanece en cero por diversas razones: para comenzar, la estimación excesiva del empleo y el costo de la disponibilidad de la mano de obra es un costo social.

También hay otros problemas, tales como costos de utilización, transporte de traslado, vivienda, entrenamiento (lo que constituye el costo social de la mano de obra), proyectos de inversión en países en desarrollo, costos realizados, ingresos en divisas.

En un mercado de divisas totalmente libre, la evaluación económica de los costos e ingresos foráneos de un proyecto de inversión podría convertir las cifras a moneda nacional aplicando los cambios del mercado libre.

Sin embargo, en muchos países en desarrollo, el cambio oficial es diferente del cambio real en el mercado libre, por lo que los cambios oficiales no reflejan el costo de oportunidad social de las divisas. Los planificadores deberían convertir los costos e ingresos a moneda nacional sobre la base de un tipo de cambio oculto que lograra un equilibrio en la balanza de pagos.

Los cinco métodos que se usan para estimar los cambios ocultos incluyen los siguientes aspectos:

1. El uso del tipo de cambio medio cuando hay múltiples cambios.
2. Calcular el costo incremental de las divisas por media de exportaciones o el costo incremental de ahorrar divisas mediante sustitución de importaciones.
3. Usando tipos de cambio determinados en el mercado libre.
4. Comparando precios en los países y en el mercado mundial para productos consumidos o producidos nacionalmente.
5. Aplicando la teoría del "poder de compra". Esta teoría asume que en igualdad de condiciones, los tipos de cambio relativos entre países varían proporcionalmente a la variación relativa del poder de compra en los países respectivos.

- **Desventajas de la razón Beneficio/Costo**

Este indicador no es totalmente confiable para la decisión de selección del proyecto, porque a semejanza de la TIR puede resultar ofreciendo valores iguales para estudios cuyo valor actual neto es sumamente distinto, dado que ambos describen beneficios netos unitarios, pero no dicen nada acerca de la totalidad de los beneficios netos producidos por el proyecto.

Este es el motivo por lo que se hace indispensable el uso del VAN como instrumento de decisión para fines de selección en proyectos mutuamente excluyentes, en lugar de la Razón Beneficio/Costo.

6.8.4 Flujo anual equivalente (FAE)

Es un parámetro de evaluación de vital importancia para la selección de proyectos mutuamente excluyentes o cuando se debe elegir entre alternativas óptimas de inversión de varios proyectos mutuamente excluyentes con diferentes horizontes.

- **Definición del flujo anual equivalente (FAE)**

El Flujo Anual Equivalente (FAE) es la anualidad del flujo de beneficios netos, que financieramente es equivalente al Valor Actual Neto (VAN) de cada alternativa de inversión multiplicada por el Factor de Recuperación de Capital (FRC). El FAE es un indicador que se emplea para elegir de varias alternativas de inversión mutuamente excluyentes con diferentes horizontes, dada una tasa de descuento fija.

Representación Matemática:

$$FAE = VAN \left\{ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right\} \dots\dots\dots(12)$$

Donde:

- FAE = Factor Anual Equivalente
- VAN = Valor Actual Neto
- i = Tasa de Rendimiento.
- n = Número de Períodos.

Sabemos que:

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

FRC = Factor de Recuperación de Capital

Por lo tanto:

$$FAE = VAN * FRC \dots\dots\dots(13)$$

- **Ventajas del flujo anual equivalente**

Es un indicador de vital importancia para evaluar proyectos que al término del horizonte de cada alternativa se renovará la inversión, produciéndose sendas cadenas de sucesivos ciclos productivos en las mismas condiciones financieras de las alternativas originales.

6.9 Análisis del mercado nacional

Para efectuar el análisis del Mercado Nacional se utilizará la información del Programa Quinquenal 2006-2010 del Sistema de Gestión de Infraestructura Vial, elaborado por el Provías Nacional a través del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, según el Anexo 4.

La Figura 6.4 muestra la Programación de la Red Vial Nacional para el Período 2006-2010.

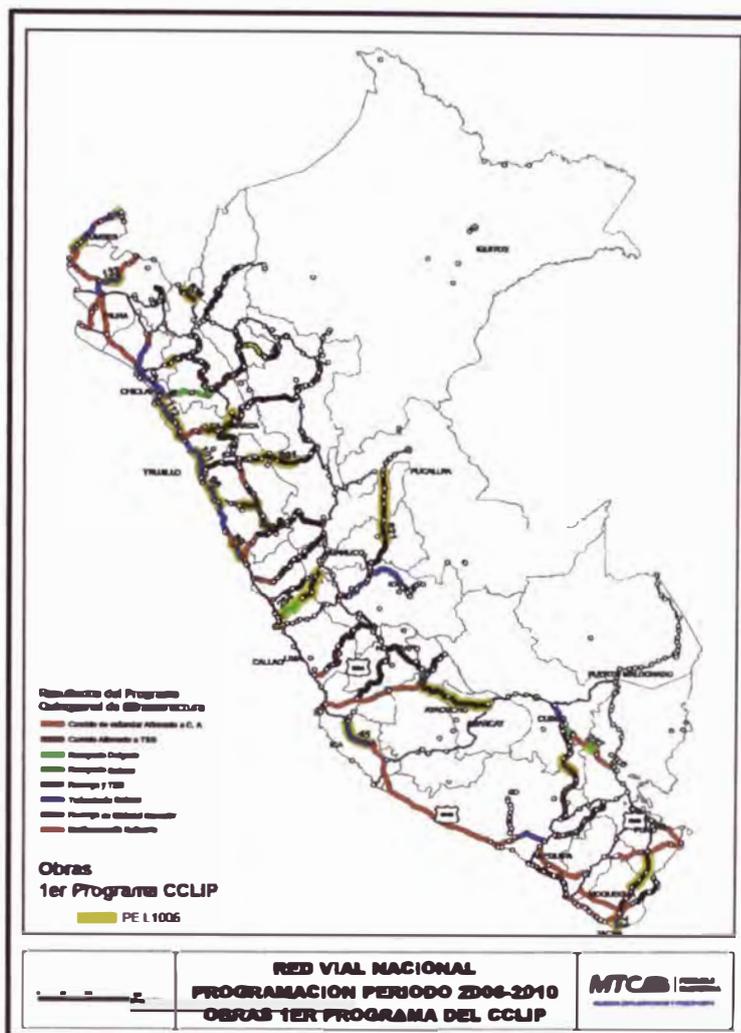


Figura 6.4 Red vial nacional programación periodo 2006-2010

6.9.1 Diagnóstico para carreteras

La Red Vial Nacional tiene una longitud de 17,158 kilómetros de carreteras, de los cuales 8,521 se encuentran pavimentadas (según el inventario vial efectuado por TNM en el año 2004), los mismos son equivalentes a 9,024 Km. de calzada, de los cuales se encuentran 8,526 km con la información completa del Anexo 2.

Los restantes 8,134 Km. de carreteras están compuestos por 6,305 Km. de carreteras no pavimentadas que constituyen la red afirmada, cuya información se encuentra en una Base de Datos confeccionada para la elaboración del Plan Intermodal de Transporte (PIT). Luego de analizar la información de dicha base se determinó (con el visto bueno de la UGC) que 1,829 Km. no serán tenidas en cuenta en el análisis técnico económico de la Red, por tratarse de carreteras inexistentes, constituidas por caminos intransitables con proyecto de obra nueva en estudio en algunos casos, también se encuentran casos en los cuales está prevista la pavimentación para el año 2,006.

Por lo expuesto anteriormente la Red Vial ingresada con la información completa al modelo HDM4, está compuesta por 575 tramos con una longitud de 14,832 Km., de los

que no se tuvo en cuenta los tramos que actualmente y a corto plazo se gestionarán bajo la modalidad de Concesión (a excepción de las Redes 1 y 4) y los comprometidos en el presupuesto 2,006, dicho criterio fue acordado y determinado indicados en forma explícita por Proviás Nacional.

Con las consideraciones anteriores la Red Vial Nacional sobre la cual se realizó el análisis técnico económico para la determinación de las prioridades de intervención bajo distintos escenarios de inversión, está compuesta por 428 tramos con una longitud de 10,609 Km. La Tabla 6.1 presenta con más detalle la composición de la red anteriormente referida.

Red Afirmada				
Datos	Concesionada (%)	Comprometida 2006	Evaluada con HDM 4	Total general
Longitud (Km)	424.7	0.0	5 880.8	6 305.5
Longitud (%)	8.7%	0.0%	93.3%	100.0%
Cant. De tramos	17	0	235	252

Red Asfaltada				
Datos	Concesionada (%)	Comprometida 2006	Evaluada con HDM 4	Total general
Longitud (km)	3 737.2	60.5	4 728.5	8 526.3
Longitud (%)	43.8%	0.7%	55.5%	100.0%
Tramos	127	3	193	323

Red Total				
Datos	Concesionada (%)	Comprometida 2006	Evaluada con HDM 4	Total general
Longitud (Km)	4 161.9	60.5	10 609.4	14 831.8
Longitud (%)	28.1%	0.4%	71.5%	100.0%
Cant. De tramos	144	3	428	575

(*) Incluye aquellos localizados en redes en proceso de concesión

Fuente: SGIV GPP-Proviás Nacional – MTC Lima, Mayo de 2006

Tabla 6.1 Evaluación de la red vial nacional

6.9.2 Red pavimentada

Dentro de los 8,526 Km. de red pavimentada con la información completa y transferida a la base de datos del Modelo HDM 4, se tomaron en cuenta en el análisis técnico económico que determina las prioridades de inversión para el período 2006 – 2010 las carreteras gestionadas por Proviás Nacional en ese mismo período, las cuales constituyen 193 tramos con una longitud de 4,728.5 Km.

Analizada la información para la red asfaltada gestionada por Proviás Nacional se determinó el estado de las vías para diferentes combinaciones de: “Categoría de Tránsito”, “Tipo de Firme” y “Categoría de Ejes equivalentes”.

Para las Categorías de tránsito se tomaron los cinco rangos definidos por la consultoría de la empresa BCEOM, éstos son:

- Categoría 1: entre $0 < \text{IMDA} \leq 150$
- Categoría 2: entre $150 < \text{IMDA} \leq 400$
- Categoría 3: entre $400 < \text{IMDA} \leq 1000$
- Categoría 4: entre $1000 < \text{IMDA} \leq 2000$
- Categoría 5: entre $\text{IMDA} > 2000$

Con respecto al tipo de firme de la red asfaltada se distinguen los siguientes:

- CA = Carpeta asfáltica
- TB = Tratamiento bituminoso

Las categorías de ejes equivalentes se definen de acuerdo a los ejes equivalentes en un período de 10 años los siguientes cuatro rangos:

- Categoría Ejes Eq. 1 (E1): $0 < \text{Ejes Eq.} \leq 2'000,000$
- Categoría Ejes Eq. 2 (E2): $2'000,000 < \text{Ejes Eq.} \leq 4'000,000$
- Categoría Ejes Eq. 3 (E3): $4'000,000 < \text{Ejes Eq.} \leq 6'000,000$
- Categoría Ejes Eq. 4 (E4): $\text{Ejes Eq.} > 6'000,000$

Para la rugosidad se adoptó la siguiente clasificación:

- Estado bueno: $0 < \text{rugosidad} \leq 2.8 \text{ IRI}$
- Estado regular: $2.8 < \text{rugosidad} \leq 4 \text{ IRI}$
- Estado malo: $4 < \text{rugosidad} \leq 5 \text{ IRI}$
- Estado muy malo: $\text{rugosidad} > 5 \text{ IRI}$

Cabe realizar dos consideraciones importantes:

La rugosidad no es el único parámetro útil en la determinación del estado de los pavimentos. Sin embargo es el más utilizado en la modelación para establecer relación con el costo de operación vehicular de los vehículos, y por lo tanto guarda relación directa con el impacto en la economía del transporte.

Los rangos establecidos están relacionados con el estándar de servicio esperado, por lo cual en diferentes circunstancias pueden adoptarse diferentes rangos de rugosidad para calificar el estado de la red.

La Tabla 6.2, ilustra sobre los kilómetros y porcentajes existentes en cada grupo-estrategia establecido por los parámetros mencionados anteriormente (por ejemplo CAT4E4 es pavimento de carpeta asfáltica, con tránsito categoría 4 y ejes equivalentes categoría 4).

Estado de la Red Asfaltada por Grupo Estrategia según su rugosidad							
Grupo Estrategia	Detos	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	Total general	Longitud (%)
CAT1	Longitud (Km)	182.3	34.8	54.6	30.4	302.1	6.4%
	Longitud %	60.4%	11.5%	18.1%	10.1%	100.0%	
CAT2	Longitud (Km)	563.0	249.3	90.6	249.9	1.173.0	24.8%
	Longitud %	49.7%	21.3%	7.7%	21.3%	100.0%	
CAT3E2	Longitud (Km)	395.7	55.1	10.2	35.2	496.2	10.5%
	Longitud %	79.7%	11.1%	2.1%	7.1%	100.0%	
CAT3E3	Longitud (Km)	832.3	293.8	56.3	217.6	1.400.0	29.6%
	Longitud %	59.5%	21.0%	4.0%	15.5%	100.0%	
CAT3E4	Longitud (Km)	123.8	191.6	0.0	0.0	315.4	6.7%
	Longitud %	39.3%	60.7%	0.0%	0.0%	100.0%	
CAT4E4	Longitud (Km)	413.9	123.8	0.0	0.0	537.7	11.4%
	Longitud %	77.0%	23.0%	0.0%	0.0%	100.0%	
CAT5E4	Longitud (Km)	204.4	0.0	0.0	12.0	216.4	4.6%
	Longitud %	94.5%	0.0%	0.0%	5.5%	100.0%	
TBT1	Longitud (Km)	0.0	12.9	0.0	0.0	12.9	0.3%
	Longitud %	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100.0%	
TBT2	Longitud (Km)	0.0	103.4	37.2	0.0	140.5	3.0%
	Longitud %	0.0%	73.6%	26.4%	0.0%	100.0%	
TBT3E3	Longitud (Km)	72.0	0.0	12.6	0.0	84.6	1.8%
	Longitud %	85.1%	0.0%	14.9%	0.0%	100.0%	
TBT4E4	Longitud (Km)	10.0	39.8	0.0	0.0	49.8	1.1%
	Longitud %	20.1%	79.9%	0.0%	0.0%	100.0%	
Total Longitud (Km)		2.817,5	1.104,4	261,6	546,1	4.729,5	100,0%
Total Longitud %		59,6%	23,4%	5,5%	11,5%	100,0%	

Fuente: SGIV GPP-Provias Nacional – MTC Lima, Mayo de 2006

Tabla 6.2 Kilómetros y porcentaje existentes en cada grupo estrategia

En la Figura 6.5 se aprecia la distribución de la red según su estado en determinado función de la rugosidad.

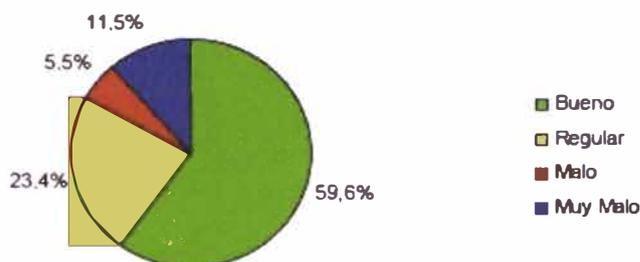


Figura 6.5 Estado de la red asfaltada según rugosidad

De la Tabla 6.2 resulta que el 83 % de la red asfaltada se encuentra en estado bueno y regular, lo que indica una estabilidad importante en la condición de las carreteras analizadas.

La Tabla 6.3 y la Figura 6.6 muestran que el 94% de la red asfaltada en estudio está compuesta por carreteras longitudinales y transversales de carpetas asfálticas, siendo el 6% restante de tratamiento bituminoso.

Estado de la Red Asfaltada por clase de carretera según su rugosidad							
Clase de carretera	Datos	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	Total general	% Clase
Longitudinal C. Asfáltica	Longitud (Km)	2.173.1	709.8	42.5	264.1	3.189.6	67,2%
	Longitud %	68.1%	22.3%	1.3%	8.3%	100.0%	
Longitudinal Trat. Bit	Longitud (Km)	59.6	31.4			91.0	1,9%
	Longitud %	65.5%	34.5%	0.0%	0.0%	100.0%	
Transversal C. Asfáltica	Longitud (Km)	562.4	238.5	169.4	280.9	1.251.2	26,4%
	Longitud %	44.9%	19.1%	13.5%	22.5%	100.0%	
Transversal Trat. Bit	Longitud (Km)	22.4	124.6	49.8		196.8	4,1%
	Longitud %	11.4%	63.3%	25.3%	0.0%	100.0%	
Total Longitud (Km)		2.817,5	1.119,0	261,6	545,1	4.743,2	
Total Longitud %		59,4%	23,6%	5,5%	11,5%	100,0%	

Fuente: SGIV GPP-Provias Nacional – MTC Lima, Mayo de 2006

Tabla 6.3 Estado de la red asfaltada por clase de carretera según su rugosidad

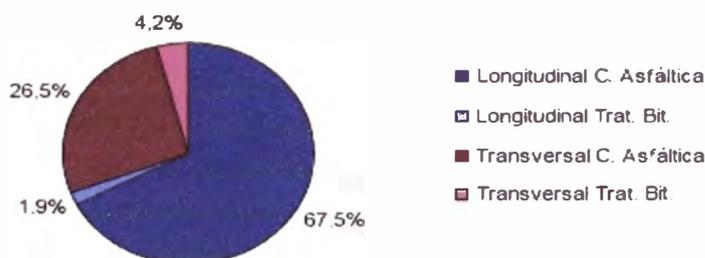


Figura 6.6 Red asfaltada por clase de carretera

Dentro de las carreteras longitudinales de carpeta asfáltica (que son por lo general las de mayor tránsito) el 68% se encuentra en buen estado ver la Figura 6.7.



Figura 6.7 Estado de la red asfaltada longitudinal de carpeta asfáltica según rugosidad

La condición de la red de carpeta asfáltica longitudinal y transversal se ilustra en las Figuras 6.7 y 6.8. Esta fase de diagnóstico preliminar resulta importante para orientar respecto a las estrategias a definir para cada grupo – estrategia.

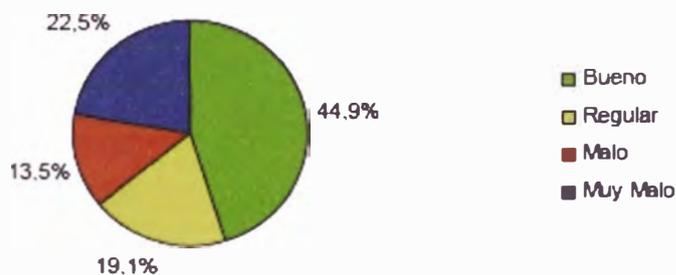


Figura 6.8 Estado de la red asfaltada transversal de carpeta asfáltica según rugosidad

6.9.3 Red no pavimentada (afirmada)

Dentro de los 6,305 Km. de red no pavimentada ingresados a la base de datos del Modelo HDM 4, se tomaron en cuenta en el análisis técnico económico únicamente las carreteras que serán gestionadas por Provías Nacional, las cuales constituyen 235 tramos con una longitud de 5,880.8 km, según el Anexo 3.

Fue analizada la información para la red afirmada al año 2,004 en relación a distintos parámetros e índices, en el Tabla 6.4 se presenta el estado de la red afirmada con respecto al Índice de Rugosidad en relación a categoría de tránsito y región climática.

Se han definido los límites para el índice de rugosidad de la siguiente manera:

- Bueno ≤ 6 IRI
- Regular entre 6 y 8 IRI
- Malo entre 8 y 10 IRI
- Muy Malo ≥ 10 IRI

Con referencia a la categoría de tránsito se adoptaron idénticos criterios que para la red pavimentada:

- Categoría 1: entre $0 < \text{IMDA} \leq 150$
- Categoría 2: entre $150 < \text{IMDA} \leq 400$
- Categoría 3: entre $400 < \text{IMDA} \leq 1000$
- Categoría 4: entre $1000 < \text{IMDA} \leq 2000$

Las zonas climáticas se identificaron cada una con las siguientes letras:

- Costa – C
- Sierra – S
- Selva – M

Estado de la Red Afirmada por Grupo Estrategia según su rugosidad							
Grupo Estrategia	Datos	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	Total general	Grupo
AFT1C	Longitud (km)		52.9	47.0	29.9	129.8	2,2%
	Longitud (%)	0.0%	40.8%	36.2%	23.0%	100.0%	
AFT1M	Longitud (km)	12.0	190.3	703.8	162.5	1.077.4	18,3%
	Longitud (%)	1.1%	18.5%	65.3%	15.1%	100.0%	
AFT1S	Longitud (km)	1.6	1.231.9	1.603.3	237.2	3.073.9	52,3%
	Longitud (%)	0.0%	40.1%	52.2%	7.7%	100.0%	
AFT2C	Longitud (km)			75.2		75.2	1,3%
	Longitud (%)	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%	
AFT2M	Longitud (km)		119.1	108.9		228.0	3,9%
	Longitud (%)	0.0%	52.2%	47.8%	0.0%	100.0%	
AFT2S	Longitud (km)	75.2	238.5	490.7	161.0	965.4	16,4%
	Longitud (%)	7.8%	24.7%	50.8%	16.7%	100.0%	
AFT3C	Longitud (km)		43.8			43.8	0,7%
	Longitud (%)	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100.0%	
AFT3M	Longitud (km)			3.1		3.1	0,1%
	Longitud (%)	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%	
AFT3S	Longitud (km)	73.1	43.4	118.1	25.2	259.8	4,4%
	Longitud (%)	28.1%	16.7%	45.5%	9.7%	100.0%	
AFT4C	Longitud (km)		21.4	3.2		24.6	0,4%
	Longitud (%)	0.0%	87.1%	12.9%	0.0%	100.0%	
Total Longitud (km)		161,8	1.950,4	3.153,0	615,7	5.880,8	100,0%
Total Longitud (%)		2,8%	33,2%	53,6%	10,5%	100,0%	

Fuente: SGIV GPP-Provías Nacional – MTC Lima, Mayo de 2006

Tabla 6.4 Estado de la red afirmada por grupo estrategia según su rugosidad

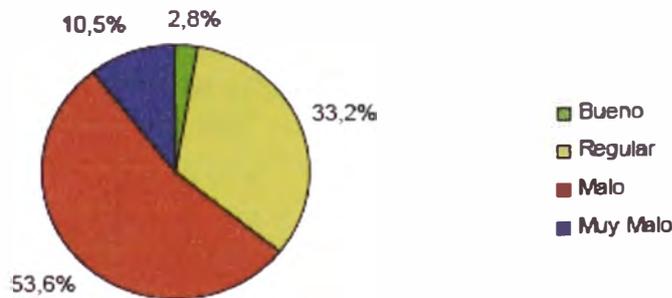


Figura 6.9 Estado de la red afirmada según rugosidad

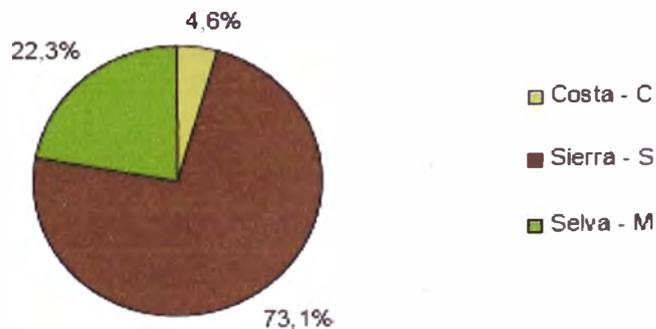


Figura 6.10 Red afirmada por región climática

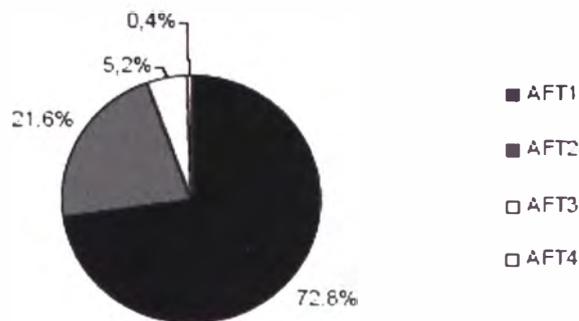


Figura 6.11 Red asfaltada por clase de carretera

Según el Diagnóstico de la Carreteras en el Perú se puede sistematizar en la Tabla 6.5 la cantidad de carreteras pavimentadas, carreteras no pavimentadas y la red nacional de carreteras con el correspondiente porcentaje.

DESCRIPCIÓN	LONGITUD KM	INCIDENCIA %
PAVIMENTADAS	9,024	52.59
NO PAVIMENTADAS	8,134	47.41
LA RED VIAL NACIONAL	17,158	100.00

Tabla 6.5 Diagnóstico de las carreteras en el Perú

La Tabla 6.6 muestra el total de kilómetros que requieren ser asfaltados para el periodo 2006-2010.

DESCRIPCIÓN	LONGITUD KM	% CARRETERAS POR ASFALTAR	KILÓMETROS POR ASFALTAR
PAVIMENTADAS	9,024	13	1,173.12
NO PAVIMENTADAS	8,134	100	8,134.00
TOTAL			9,307.12

Tabla 6.6 Cantidad total de kilómetros carreteras por asfaltar en el Perú (2006-2010)

Por lo tanto existen las condiciones para calcular la cantidad de toneladas de mezcla asfáltica que se requiere producir para cumplir con el Programa Quinquenal 2,006-2,010 del Sistema de Gestión de Infraestructura Vial como lo presenta la Tabla 6.7. Se está considerando que al ancho promedio de las vías es de 10.00 m con un espesor de 4", de carpeta asfáltica compactada (e= 5" para colocar en la carretera) entonces:

9,307.12	Km x 1,000 m/Km	=	9'307,120 m
9'307,120	m x 10.00 m	=	93'071,200 m ²
93'071,200	m ² x 5" x 2.54 cm/100 cm	=	11'820,042.40 m ³
11'820,042.40	m ³ x 1.8 TN/m ³	=	21'276,076.32 TN
CANTIDAD TOTAL DE MEZCLA ASFÁLTICA			21'276,076.32 TN

Tabla 6.7 Cantidad total de mezcla asfáltica que se requiere para asfaltar las vías en el Perú (2006-2010)

De la Tabla 5.23 en el Capítulo V se ha calculado la cantidad de mezcla asfáltica producida mensualmente por la Planta de Asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 200. La Tabla 6.8 presenta la cantidad de mezcla asfáltica producida anualmente considerando 11 meses de operación con 01 mes de mantenimiento de la planta.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
TRABAJO POR MES	DÍAS	22
TRABAJO POR DÍA	HORAS	08
CANTIDAD DE MEZCLA ASFALTICA PRODUCIDA POR HORA	TN/H	186
CANTIDAD DE MEZCLA PRODUCIDA EN UN MES	TN	32,736
CANTIDAD DE MEZCLA PRODUCIDA EN UN AÑO (11 MESES DE OPERACIÓN)	TN	360,096

Tabla 6.8 Cantidad de mezcla asfáltica producida anualmente

Finalmente, se debe calcular el número de plantas de asfalto a adquirir; la Tabla 6.9 muestra el indicado número, se asume que el primer año servirá para realizar todas las acciones administrativas, convocatoria a licitación, adquisición, instalación y montaje.

CANTIDAD TOTAL DE MEZCLA ASFÁLTICA QUE SE REQUIERE PARA ASFALTAR LAS VÍAS EN EL PERÚ (2006-2010),	21'276,076.32 TN
CANTIDAD TOTAL DE MEZCLA ASFÁLTICA QUE SE REQUIERE PARA ASFALTAR LAS VÍAS EN EL PERÚ POR AÑO (4 AÑOS DE PRODUCCION Y COLOCACION DE MEZCLAS EN LAS CARRETERAS 1 AÑO DE ADQUISICION, INSTALACION Y MONTAJE).	21'276,076.32 TN /4 = 5'319,019.08 TN
NÚMERO DE PLANTAS DE ASFALTO PARA ADQUIRIR	5'319,019.08TN /360,096 TN 14.77 ≈ 15

Tabla 6.9 Requerimiento de plantas de asfalto

6.10 Análisis y proyección de la demanda

Se puede asumir en este aspecto que el estudio de la demanda será calculado sobre la base de los estudios de infraestructura urbana de una determinada región del país, con el fin de establecer la demanda de pavimentación de vías y la oferta por parte de la Planta de Asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 200. El período asumido es de 8 años el cual obedece a dos periodos de gestión de un gobierno local o regional y también al período de vida útil de la planta de asfalto.

DEMANDA PRIMER AÑO

VIAS POR ASFALTAR	LONGITUD (Km)	ANCHO PROMEDIO (MI)	AREA M2	VOLUMEN M3	PESO Tn
INTERPROVINCIAL	20	15	300000	30000	54000
CIRCUNVALACION	15	13	195000	19500	35100
PRINCIPALES	30	12	360000	36000	64800
COLECTORAS PRINCIP.	45	10	450000	45000	81000
COLECTORAS SECUND.	35	7.2	252000	25200	45360
PASAJES	25	6.3	157500	15750	28350
CAMINOS VECINALES	15	7.2	108000	10800	19440
TOTAL					328050

DEMANDA SEGUNDO AÑO

VIAS POR ASFALTAR	LONGITUD (Km)	ANCHO PROMEDIO (MI)	AREA M2	VOLUMEN M3	PESO Tn
INTERPROVINCIAL	60	15	900000	90000	162000
CIRCUNVALACION	30	13	390000	39000	70200
PRINCIPALES	10	12	120000	12000	21600
COLECTORAS PRINCIP.	35	10	350000	35000	63000
COLECTORAS SECUND.	38	7.2	273600	27360	49248
PASAJES	35	6.3	220500	22050	39690
CAMINOS VECINALES	45	7.2	324000	32400	58320
TOTAL					464058

DEMANDA TERCER AÑO

VIAS POR ASFALTAR	LONGITUD (Km)	ANCHO PROMEDIO (MI)	AREA M2	VOLUMEN M3	PESO Tn
INTERPROVINCIAL	100	15	1500000	150000	270000
CIRCUNVALACION	15	13	195000	19500	35100
PRINCIPALES	15	12	180000	18000	32400
COLECTORAS PRINCIP.	35	10	350000	35000	63000
COLECTORAS SECUND.	20	7.2	144000	14400	25920
PASAJES	55	6.3	346500	34650	62370
CAMINOS VECINALES	50	7.2	360000	36000	64800
TOTAL					553590

DEMANDA CUARTO AÑO

VIAS POR ASFALTAR	LONGITUD (Km)	ANCHO PROMEDIO (MI)	AREA M2	VOLUMEN M3	PESO Tn
INTERPROVINCIAL	150	15	2250000	225000	405000
CIRCUNVALACION	15	13	195000	19500	35100
PRINCIPALES	15	12	180000	18000	32400
COLECTORAS PRINCIP.	35	10	350000	35000	63000
COLECTORAS SECUND.	20	7.2	144000	14400	25920
PASAJES	55	6.3	346500	34650	62370
CAMINOS VECINALES	80	7.2	576000	57600	103680
TOTAL					727470

DEMANDA QUINTO AÑO

VIAS POR ASFALTAR	LONGITUD (Km)	ANCHO PROMEDIO (MI)	AREA M2	VOLUMEN M3	PESO Tn
INTERPROVINCIAL	150	15	2250000	225000	405000
CIRCUNVALACION	10	13	130000	13000	23400
PRINCIPALES	25	12	300000	30000	54000
COLECTORAS PRINCIP.	45	10	450000	45000	81000
COLECTORAS SECUND.	30	7.2	216000	21600	38880
PASAJES	55	6.3	346500	34650	62370
CAMINOS VECINALES	90	7.2	648000	64800	116640
TOTAL					781290

DEMANDA SEXTO AÑO

VIAS POR ASFALTAR	LONGITUD (Km)	ANCHO PROMEDIO (MI)	AREA M2	VOLUMEN M3	PESO Tn
INTERPROVINCIAL	50	15	750000	75000	135000
CIRCUNVALACION	5	13	65000	6500	11700
PRINCIPALES	25	12	300000	30000	54000
COLECTORAS PRINCIP.	75	10	750000	75000	135000
COLECTORAS SECUND.	80	7.2	576000	57600	103680
PASAJES	55	6.3	346500	34650	62370
CAMINOS VECINALES	100	7.2	720000	72000	129600
TOTAL					631350

DEMANDA SETIMO AÑO

VIAS POR ASFALTAR	LONGITUD (Km)	ANCHO PROMEDIO (MI)	AREA M2	VOLUMEN M3	PESO Tn
INTERPROVINCIAL	100	15	1500000	150000	270000
CIRCUNVALACION	25	13	325000	32500	58500
PRINCIPALES	25	12	300000	30000	54000
COLECTORAS PRINCIP.	75	10	750000	75000	135000
COLECTORAS SECUND.	80	7.2	576000	57600	103680
PASAJES	55	6.3	346500	34650	62370
CAMINOS VECINALES	100	7.2	720000	72000	129600
TOTAL					813150

DEMANDA OCTAVO AÑO

VIAS POR ASFALTAR	LONGITUD (Km)	ANCHO PROMEDIO (MI)	AREA M2	VOLUMEN M3	PESO Tn
INTERPROVINCIAL	130	15	1950000	195000	351000
CIRCUNVALACION	20	13	260000	26000	46800
PRINCIPALES	25	12	300000	30000	54000
COLECTORAS PRINCIP.	70	10	700000	70000	126000
COLECTORAS SECUND.	80	7.2	576000	57600	103680
PASAJES	45	6.3	283500	28350	51030
CAMINOS VECINALES	150	7.2	1080000	108000	194400
TOTAL					926910

La demanda total sistematizada para cada año se muestra en la Tabla 6.10, es importante indicar que según los planes de desarrollo de cada región o gobierno municipal provincial en el aspecto de infraestructura de deberá calcular la demanda insatisfecha y comparar con la demanda potencial, es decir incluir también las vías que requieran ser repavimentadas, mantenidas usando la tecnología del RAP.

AÑO	DEMANDA T _n
1	328050
2	464058
3	553590
4	727470
5	781290
6	631350
7	813150
8	926910

Tabla 6.10 Demanda de mezcla asfáltica

Con la información obtenida en la Tabla 6.10 se obtiene la Curva de Demanda de mezcla asfáltica en caliente para los próximos 8 años, de esta forma se puede analizar la forma y el comportamiento de la curva para posteriormente realizar proyecciones de la demanda para distintos períodos.

En la Figura 6.12 se observa la Curva de la Demanda de Mezcla Asfáltica con los correspondientes valores para cada año.

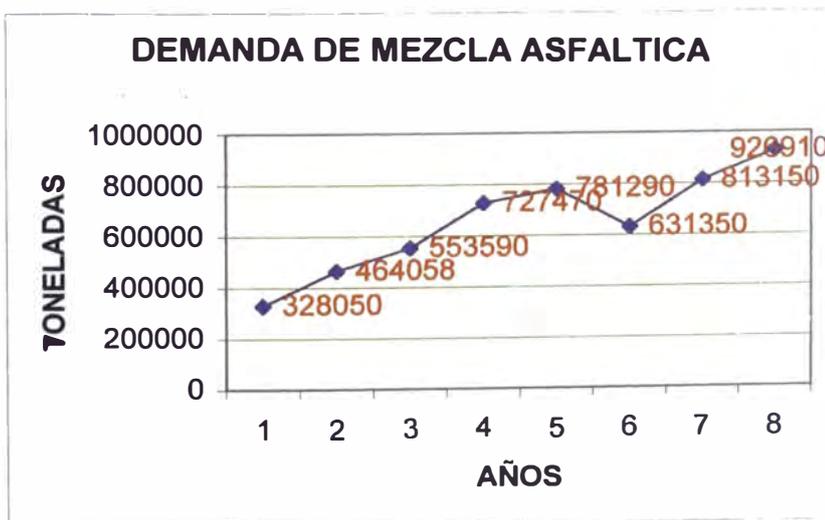


Figura 6.12 Curva de demanda de mezcla asfáltica

Seguidamente se debe encontrar la función de ajuste, asumiremos inicialmente que la función es lineal según la ecuación general de la recta es:

$$Y = a + bx$$

La Tabla 6.11 muestra el cuadro de tabulación para ser utilizar los valores en Regresión Lineal.

X	Y	XY	X²	Y²
1	328050	328050	1	107616802500.00
2	464058	928116	4	215349827364.00
3	553590	1660770	9	306461888100.00
4	727470	2909880	16	529212600900.00
5	781290	3906450	25	610414064100.00
6	631350	3788100	36	398602822500.00
7	813150	5692050	49	661212922500.00
8	926910	7415280	64	859162148100.00
Σ	36	5225868	204	3688033076064.00

Tabla 6.11 Cuadro de tabulación

$$\begin{aligned}
 y &= a + bx \\
 \Sigma y &= na + b\Sigma x && n = 8 \\
 \Sigma xy &= a\Sigma x + b\Sigma x^2
 \end{aligned}$$

Reemplazando valores se tiene la siguientes Ecuaciones Paramétricas:

$$\begin{aligned}
 5225868 &= 8a + 36b && (-4.5) \\
 \underline{26628696} &= \underline{36a + 204b}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -23516406 &= -36a - 162b \\
 \underline{26628696} &= \underline{36a + 204b}
 \end{aligned}$$

$$3112290 = 42b$$

$$\begin{aligned}
 b &= 74102.14 \\
 a &= 319773.86
 \end{aligned}$$

→ $y = 319773.86 + 74102.14x$

Por lo tanto la ecuación de ajuste es:

$$y = 319773.86 + 74102.14x \dots\dots\dots(14)$$

La aplicación de la Ecuación (14), solo se justificará en el caso que exista una relación lineal muy precisa entre las variable x, y; la cual se cuantifica mediante el coeficiente de correlación lineal (R). Por lo tanto se debe encontrar dicho coeficiente de correlación.

La Ecuación (15) corresponde al Coeficiente de Correlación (R).

CALCULO DEL COEFICIENTE DE CORRELACION

$$R = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} \dots\dots\dots(15)$$

$$R = \frac{8 \times 26628696 - (36)(5225868)}{\sqrt{8 \times 204 - (36)^2} \sqrt{8 \times 3688033076064 - (5225868)^2}}$$

$$R = \frac{24898320}{\sqrt{336} \sqrt{2194568255088}}$$

$$R = \frac{24898320}{27154644.3537} = 0.9169 \quad \checkmark$$

$$-1 \leq R \leq 1$$

En consecuencia la función lineal asumida inicialmente es correcta debido a que el Coeficiente de Correlación calculado es 0.9169 menor que 1 y positivo.

También se debe encontrar el Índice o Coeficiente de Determinación, el cual se lo obtiene elevando al cuadrado al Coeficiente de Correlación es decir:

$$R^2 \leq 1$$

$$0.9169^2 = 0.8407 \leq 1 \quad \checkmark$$

El valor del Coeficiente de Correlación es menor que 1, significa que el porcentaje de la varianza de y es correlacionada por la varianza de x.

6.11 Cuadros de servicio de deuda y financiamiento

A continuación elaboraremos el Cuadro de Servicio de Deuda para el costo de adquisición, asumiendo que para adquirir una planta de asfalto se realizará con financiamiento en los siguientes términos:

Financiamiento	\$ US 1'525,525.00
Interés efectivo anual en dólares	$i = 12.5\%$
Periodo de amortización	$n = 4$ años
Años de Gracia	01

Se aplicará inicialmente el Método de Anualidad Constante para obtener los Pagos Financieros Totales Anuales (R) los cuales son calculados de la siguiente forma:

$$R = P \times FRC$$

Donde:

R = Pagos Financieros Totales

P = Monto a Financiar

FRC = Factor de Recuperación de Capital =

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$R = 1'525,525.00 \left[\frac{0.125(1+0.125)^3}{(1+0.125)^3 - 1} \right] = 640,615.08$$

La Tabla 6.12 muestra el Servicio de Deuda por Anualidad Constante. Los Pagos totales pueden ser asumidos por el FONCOMUN o CANON para el caso de los Gobiernos Locales y por las Transferencias Asignadas a los Gobiernos Regionales y Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

CUADRO SERVICIO DE DEUDA POR ANUALIDAD CONSTANTE

PERIODO	SALDO		AMORTIZACION	INTERES 12.50%	PAGO TOTAL
	INICIAL	FINAL			
1	1525525.00	1525525.00		190690.63	190690.63
2	1525525.00	1075600.55	449924.46	190690.63	640615.08
3	1075600.75	569435.76	506164.99	134450.09	640615.08
4	569435.76	0.15	569435.61	71179.47	640615.08

Tabla 6.12 Cuadro de servicio de deuda por anualidad constante

También se aplicará el Método de Anualidad Decreciente. La Tabla 6.13 muestra el Cuadro de Servicio de Deuda por Anualidad Decreciente

CUADRO SERVICIO DE DEUDA POR ANUALIDAD DECRECIENTE

PERIODO	SALDO		AMORTIZACION	INTERES 12.50%	PAGO TOTAL
	INICIAL	FINAL			
1	1525525.00	1525525.00		190690.63	183190.63
2	1525525.00	1017016.67	508508.33	190690.63	699198.96
3	1017016.67	508508.34	508508.33	127127.08	635635.41
4	508508.34	0.01	508508.33	63563.54	572071.87

Tabla 6.13 Cuadro de servicio de deuda por anualidad decreciente

6.12 Tamaños de planta para evaluación

Para efectuar el análisis y evaluación económica y financiera se han considerado los tamaños de planta mostrados en la Tabla 6.14, todas las plantas corresponden a la marca ASTEC con tambor mezclador Double Barrel.

PLANTA	MODELO	PRODUCCION TPH
A	SIX-PACK PORTATIL PDB-200	200
B	SIX-PACK PORTATIL PDB-300	300
C	SIX-PACK PORTATIL PDB-400	400

Tabla 6.14 Tamaños de plantas para evaluar

Definidas las tres plantas a evaluar, seguidamente se tiene que calcular la producción anual de mezcla asfáltica para cada tamaño de planta para lo cual se tiene como referencia la información de la Figura 6.13.

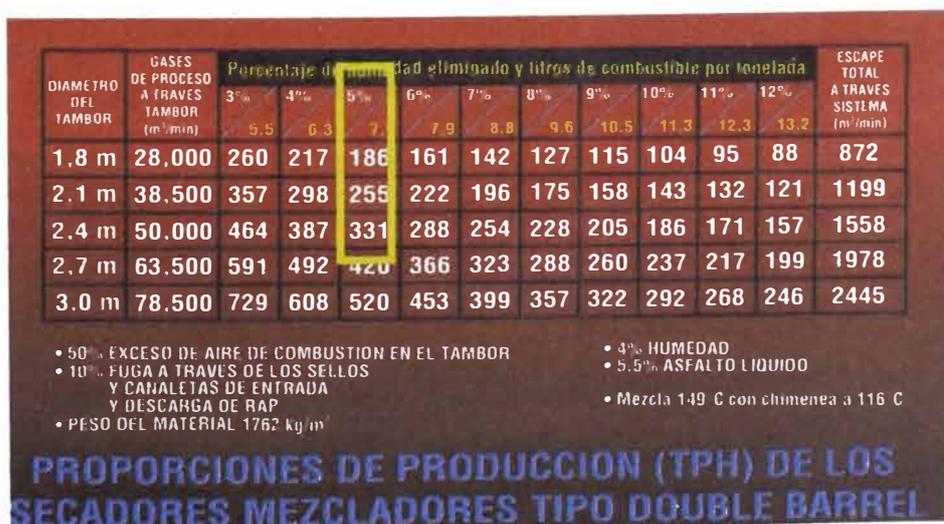


Figura 6.13 Producción horaria de mezcla asfáltica de los tres tamaños de plantas

Es importante precisar que los factores más importantes para obtener la producción son:

- 5% de humedad de agregados.
- Horas de Trabajo por día.
- Número de días de operación mensual.
- Número de meses de operación al año.

La Tabla 6.15 presenta la producción anual de mezcla asfáltica para el tamaño de Planta A Modelo PDB-200.

TAMAÑO DE PLANTA "A"		MODELO PDB 200	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	
TRABAJO POR MES	DÍAS	22	
TRABAJO POR DÍA	HORAS	08	
CANTIDAD DE MEZCLA ASFALTICA PRODUCIDA POR HORA	TN/H	186	
CANTIDAD DE MEZCLA PRODUCIDA EN UN MES	TN	32,736	
CANTIDAD DE MEZCLA PRODUCIDA EN UN AÑO (11 MESES DE OPERACIÓN)	TN	360,096	

Tabla 6.15 Cantidad de mezcla asfáltica producida anualmente Tamaño de Planta A

La Tabla 6.16 presenta la producción anual de mezcla asfáltica para el tamaño de Planta B Modelo PDB-300.

TAMAÑO DE PLANTA "B"		MODELO PDB 300	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	
TRABAJO POR MES	DÍAS	22	
TRABAJO POR DÍA	HORAS	08	
CANTIDAD DE MEZCLA ASFALTICA PRODUCIDA POR HORA	TN/H	255	
CANTIDAD DE MEZCLA PRODUCIDA EN UN MES	TN	44,880	
CANTIDAD DE MEZCLA PRODUCIDA EN UN AÑO (11 MESES DE OPERACIÓN)	TN	493,680	

Tabla 6.16 Cantidad de mezcla asfáltica producida anualmente Tamaño de Planta B

La Tabla 6.17 presenta la producción anual de mezcla asfáltica para el tamaño de Planta C Modelo PDB-400.

TAMAÑO DE PLANTA "C"		MODELO PDB 400	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	
TRABAJO POR MES	DÍAS	22	
TRABAJO POR DÍA	HORAS	08	
CANTIDAD DE MEZCLA ASFALTICA PRODUCIDA POR HORA	TN/H	331	
CANTIDAD DE MEZCLA PRODUCIDA EN UN MES	TN	58,256	
CANTIDAD DE MEZCLA PRODUCIDA EN UN AÑO (11 MESES DE OPERACIÓN)	TN	640,816	

Tabla 6.17 Cantidad de mezcla asfáltica producida anualmente Tamaño de Planta C

6.13 Optimización matemática del tamaño de planta

En el Capítulo V se obtuvo el costo unitario de \$ US 26.97/tn de mezcla asfáltica producida para el tamaño de Planta de Asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 200.

El indicado costo unitario servirá como costo unitario base para calcular los costos unitarios de producción para los otros tamaños de plantas. Se asume que el costo unitario de producción de cada planta de asfalto y la distribución entre costos fijos y variables trabajando a plena capacidad se muestra en la Tabla 6.18.

PLANTA	TAMAÑO Tn/año	COSTO UNITARIO \$	COSTO FIJO %	COSTO VARIABLE %
A	360,096	26.97	38.65	61.35
B	493,680	25.62	36.72	63.28
C	640,816	24.34	34.88	65.11

Tabla 6.18 Estructura de costos de los tres tamaño de plantas

Asimismo se debe determinar el Precio de Venta unitario a partir del costo unitario directo producido por el tamaño de Planta A.

La Tabla 6.19 muestra el precio de de venta el cual incluye gastos generales, utilidad e impuesto general a las ventas IGV por tonelada de mezcla asfáltica para cualquier volumen de ventas y producida indistintamente por cualquiera de los tamaños de plantas.

COSTO UNITARIO DIRECTO \$ US	UNIDAD	GASTOS GENERALES %	UTILIDAD %	IGV %	PRECIO DE VENTA \$ US
26.97	Tn	10	8	19	37.87

Tabla 6.19 Precio de venta por tonelada de mezcla asfáltica

Con relación al Factor de Escala “ α ”, Naciones Unidas publicó en el Boletín N° 20 de Industrialización y Productividad los valores correspondientes, los cuales algunos de ellos se muestran en la Tabla 6.20.

PRODUCTO	FACTOR DE ESCALA “ α ”
ACIDO SULFÚRICO	0.73
AZUFRE	0.64
OXÍGENO	0.65
ÁCIDO NÍTRICO	0.93
REFINACIÓN DE PETRÓLEO	0.67

Tabla 6.20 Valores del factor de escala

Para nuestro caso se tomará el valor de “ α ” de 0.67 el cual corresponde a refinación de petróleo, es similar para el caso de producción de mezcla asfáltica en caliente, toda vez que durante el proceso de producción de la mezcla asfáltica las técnicas son análogas a las de la refinación de petróleo.

La inversión para la adquisición de la Planta A es de \$ US 1'525,525.00, tomando el concepto de economía del tamaño de planta estudiado en el Capítulo IV, se debe calcular las inversiones para los otros tamaños de plantas. Aplicando la ecuación de optimación de la inversión se tiene:

$$I_t = I_0 \left[\frac{T_t}{T_0} \right]^\alpha$$

Donde:

- I_t = Inversión necesaria para un tamaño T_t de planta.
- I_0 = Inversión necesaria para un tamaño T_0 de planta.
- T_0 = Tamaño de planta utilizado como base de referencia. (Cantidad de mezcla producida anualmente por la planta T_0).
- T_t = Tamaño de nueva planta. (Cantidad de mezcla producida anualmente por la planta T_t).
- α = Exponente del factor de escala para plantas de asfalto 0.67.

Entonces remplazando valores se tiene:

• **Planta de Tamaño A**

$$I_t = 1'525,525 \left[\frac{360,096}{360,096} \right]^{0.67} = 1'525,525.00$$

• **Planta de Tamaño B**

$$I_t = 1'525,525 \left[\frac{493,680}{360,096} \right]^{0.67} = 1'884,636.48$$

• **Planta de Tamaño C**

$$I_t = 1'525,525 \left[\frac{640,816}{360,096} \right]^{0.67} = 2'244,555.89$$

La Tabla 6.21 presenta el consolidado de las inversiones y capacidad de las tres plantas de asfalto.

PLANTA	A	B	C
CAPACIDAD Tn/año	360,096	493,680	640,816
INVERSION \$ US	1'525,525.00	1'884,636.48	2'244,555.89

Tabla 6.21 Capacidades e inversiones para los tres tamaños de plantas

También se admite que las plantas de asfalto tendrán un Valor de Rescate o Valor Residual del 45% del Valor de Adquisición al final de su vida útil de 8 años, para lo cual se ha calculado para los tres tamaños de plantas según lo muestra la Tabla 6.22.

Se ha tomado este valor debido a que la tecnología de las plantas es de última generación, logrando niveles reducidos de depreciación.

PLANTA	VALOR DE ADQUISICIÓN \$ US	VALOR DE RESCATE = 45% DEL VALOR DE ADQUISICIÓN \$ US
A	1'525,525.00	686,486.25
B	1'884,636.48	848,086.42
C	2'244,555.89	1'010,050.15

Tabla 6.22 Valores de rescate para los tres tamaños de plantas

Seguidamente se debe calcular el Flujo de Beneficios Netos, Valor Residual, e Inversiones con el fin de calcular el Valor Actual Neto (VAN) para cada tamaño de planta y finalmente compararlas con los respectivos VANs, de esta forma se conocerá la planta que ofrece las mejores condiciones y ventajas.

6.14 Cálculo del Valor Actual Neto VAN de cada tamaño de planta

Primeramente, se debe tener la demanda de mezcla asfáltica para los 8 años de operación de la planta de asfalto, la misma que ha sido obtenida en la Tabla 6.10 elaborada anteriormente mediante la cual se conoce la demanda de mezcla asfáltica.

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8
DEMANDA TN	328,050	464,058	553,590	727,470	781,290	631,350	813,150	926,910

Tabla 6.10 Demanda de mezcla asfáltica para el periodo de operación de las plantas de asfalto

6.14.1 *Cálculo del VAN para el tamaño de Planta A con capacidad de 360,096 tn/año*

a.- Cálculo de los Ingresos

Los Ingresos se calculan aplicando la siguiente fórmula:

$$I_t = P \times Q_p$$

Donde:

I_t	= Ingresos anuales.
P	= Precio de venta por tonelada de mezcla asfáltica.
Q_p	= Cantidad producida.

$$I_1 = 37.87 \times 328,350 = 12'434,614.50$$

$$I_{2-8} = 37.87 \times 360,096 = 13'636,835.52$$

b.- Cálculo del Costo Fijo

El Costo Fijo se obtiene a partir de la cantidad producida a plena capacidad de acuerdo al tamaño de cada planta, la ecuación es la siguiente:

$$C_f = C_u \times Q_{pm} \times A$$

Donde:

C_f	= Costos fijos anuales.
C_u	= Costo unitario por tonelada de mezcla asfáltica.
Q_{pm}	= Cantidad producida a plena capacidad.
A	= Aporte en %.

$$C_f = 26.97 \times 360,096 \times 0.3865 = 3'753,606.49$$

c.- Cálculo del Costo Variable

El Costo Variable se obtiene a partir de las cantidades efectivas producidas en cada período, la ecuación es la siguiente:

$$C_v = C_u \times Q_{pe} \times B$$

Donde:

- C_v = Costos variables anuales.
- C_u = Costo unitario por tonelada de mezcla asfáltica.
- Q_{pe} = Cantidad producida efectiva.
- B = Aporte en %.

$$C_1 = 26.97 \times 328,050 \times 0.6135 = 5'427,946.46$$

$$C_{2-8} = 26.97 \times 360,096 \times 0.6135 = 5'958,182.63$$

d.- Cálculo del Flujo Anual

El Flujo Anual se obtiene a partir de la diferencia entre los ingresos y el costo total, la ecuación es la siguiente:

$$FA = I - CT$$

Donde:

- FA = Flujos Anuales.
- I = Ingresos Totales.
- CT = Costos Totales.

Realizando los cálculos correspondientes y sistematizando los resultados se elabora el cuadro del flujos anuales, como lo muestra la Tabla 6.23.

AÑO	PRODUCCIÓN	INGRESOS	COSTO FIJO	COSTO VARIABLE	COSTO TOTAL	FLUJO ANUAL
1	328,050	12'434,614.50	3'753,606.49	5'427,946.46	9'181,552.95	3'253,061.55
2	360,096	13'636,835.52	3'753,606.49	5'958,182.63	9'711,789.12	3'925,046.40
3	360,096	13'636,835.52	3'753,606.49	5'958,182.63	9'711,789.12	3'925,046.40
4	360,096	13'636,835.52	3'753,606.49	5'958,182.63	9'711,789.12	3'925,046.40
5	360,096	13'636,835.52	3'753,606.49	5'958,182.63	9'711,789.12	3'925,046.40
6	360,096	13'636,835.52	3'753,606.49	5'958,182.63	9'711,789.12	3'925,046.40
7	360,096	13'636,835.52	3'753,606.49	5'958,182.63	9'711,789.12	3'925,046.40
8	360,096	13'636,835.52	3'753,606.49	5'958,182.63	9'711,789.12	3'925,046.40

Tabla 6.23 Cuadro de los flujos anuales

La Figura 6.14 muestra las curvas oferta demanda para la Planta de Asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 200.

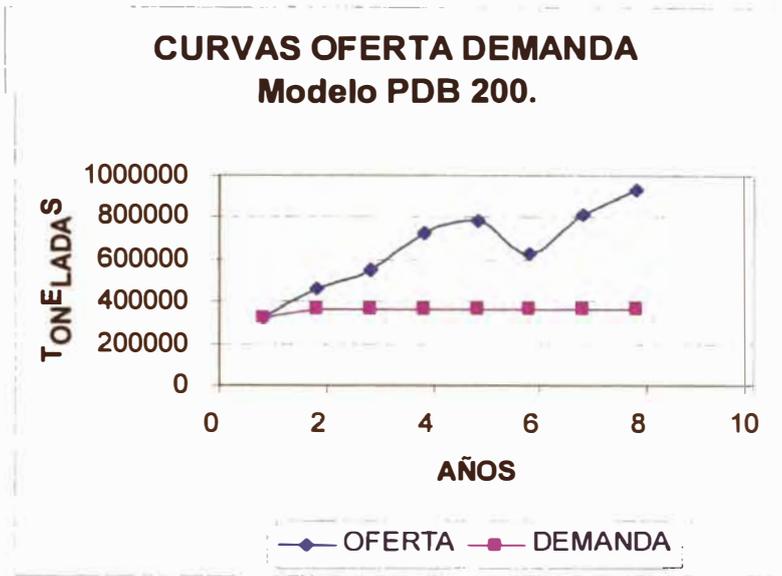


Figura 6.14 Curvas oferta demanda

e.- Obtención del Valor Actual Neto VAN

El Valor Actual Neto VAN anual se obtiene a partir de los beneficios netos totales o flujos netos, la inversión y el valor residual o rescate, la ecuación es la siguiente:

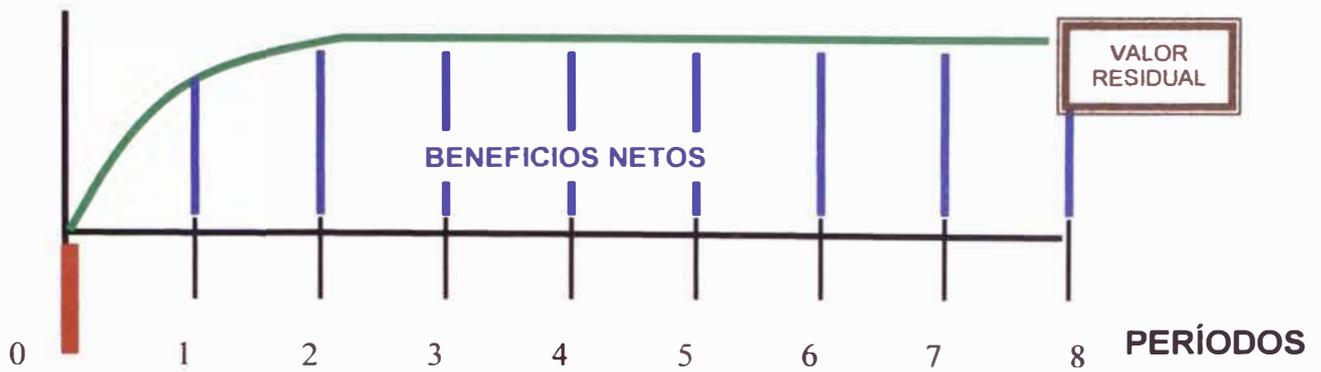
$$VAN(T) = \left[\sum_{t=1}^n \frac{BN_t(T)}{(1+i)^t} \right] - I(T) + \frac{VR(T)}{(1+i)^t}$$

Donde:

- VAN(T) = Valor Actual Neto del Tamaño de Planta de Asfalto en Estudio.
- BN_t(T) = Beneficios Netos en el Período t del Tamaño de Planta de Asfalto en Estudio corresponden a los Flujo Netos Totales.
- I(T) = Inversión del Tamaño de Planta de Asfalto en Estudio.
- VR(T) = Valor Residual del Tamaño de Planta de Asfalto en Estudio.
- i = Tasa de Descuento = 14%.
- t = Período.
- n = Número de Períodos.

Gráficamente la solución del Valor Actual Neto para cada tamaño de planta se muestra la Figura 6.15. Los componentes o factores que intervienen en el VAN son:

- Inversión.
- Beneficios Netos o Flujos Netos Totales Anuales.
- Valor Residual.



INVERSIÓN

Figura 6.15 Representación gráfica de los componentes para calcular el VAN

Por lo tanto calculando el VAN para el Tamaño de Planta y considerando la tasa de descuento del 14% como lo establece Programa Quinquenal 2006-2010 del Sistema de Gestión de Infraestructura Vial elaborado por el Provías Nacional a través del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y reemplazando los valores respectivos se tiene:

$$VAN(A) = \left[\begin{array}{cccc} 3'253'061.55 & 3'925'046.40 & 3'925'046.40 & 3'925'046.40 \\ (1+0.14)^1 & (1+0.14)^2 & (1+0.14)^3 & (1+0.14)^4 \\ + & + & + & + \\ 3'925'046.40 & 3'925'046.40 & 3'925'046.40 & 3'925'046.40 \\ + & + & + & + \\ (1+0.14)^5 & (1+0.14)^6 & (1+0.14)^7 & (1+0.14)^8 \end{array} \right] - 1'525'525.00 + \frac{686'486.25}{(1+0.14)^8}$$

$$VAN(A) = \$US.16'333,424.60$$

6.14.2 Cálculo del VAN para el tamaño de Planta B con capacidad de 493,680 tn/año

a.- Cálculo de los Ingresos

Los Ingresos se calculan aplicando la siguiente fórmula:

$$I_t = P \times Q_p$$

Donde:

- I_t = Ingresos anuales.
- P = Precio de venta por tonelada de mezcla asfáltica.
- Q_p = Cantidad producida.

$$I_1 = 37.87 \times 328,350 = 12'434,614.50$$

$$I_2 = 37.87 \times 464,058 = 17'573,876.46$$

$$I_{3-8} = 37.87 \times 493,680 = 18'695,661.60$$

b.- Cálculo del Costo Fijo

El Costo Fijo se obtiene a partir de la cantidad producida a plena capacidad de acuerdo al tamaño de cada planta, la ecuación es la siguiente:

$$C_f = C_u \times Q_{pm} \times A$$

Donde:

- C_f = Costos fijos anuales.
- C_u = Costo unitario por tonelada de mezcla asfáltica.
- Q_{pm} = Cantidad producida a plena capacidad.
- A = Aporte en %.

$$C_f = 25.62 \times 493,680 \times 0.3672 = 4'644,375.56$$

c.- Cálculo del Costo Variable

El Costo Variable se obtiene a partir de las cantidades efectivas producidas en cada período, la ecuación es la siguiente:

$$C_v = C_u \times Q_{pe} \times B$$

Donde:

- C_v = Costos variables anuales.
- C_u = Costo unitario por tonelada de mezcla asfáltica.
- Q_{pe} = Cantidad producida efectiva.
- B = Aporte en %.

$$C_1 = 25.62 \times 328,050 \times 0.6328 = 5'318,456.82$$

$$C_2 = 25.62 \times 464,058 \times 0.6328 = 7'523,464.22$$

$$C_{3-8} = 25.62 \times 493,680 \times 0.6328 = 8'003,706.04$$

d.- Cálculo del Flujo Anual

El Flujo Anual se obtiene a partir de la diferencia entre los ingresos y el costo total, la ecuación es la siguiente:

$$FA = I - CT$$

Donde:

FA = Flujos Anuales.
 I = Ingresos Totales.
 CT = Costos Totales.

Se procede a realizar los cálculos correspondientes y se sistematiza los resultados para finalmente elaborar el cuadro de los flujos anuales, como lo muestra la Tabla 6.24.

AÑO	PRODUCCIÓN	INGRESOS	COSTO FIJO	COSTO VARIABLE	COSTO TOTAL	FLUJO ANUAL
1	328,050	12'434,614.50	4'644,375.56	5'318,456.82	9'962,832.38	2'471,782.12
2	464,058	17'573,876.46	4'644,375.56	7'523,464.22	12'167,839.78	5'406,036.68
3	493,680	18'695,661.60	4'644,375.56	8'003,706.04	12'648,081.60	6'047,580.00
4	493,680	18'695,661.60	4'644,375.56	8'003,706.04	12'648,081.60	6'047,580.00
5	493,680	18'695,661.60	4'644,375.56	8'003,706.04	12'648,081.60	6'047,580.00
6	493,680	18'695,661.60	4'644,375.56	8'003,706.04	12'648,081.60	6'047,580.00
7	493,680	18'695,661.60	4'644,375.56	8'003,706.04	12'648,081.60	6'047,580.00
8	493,680	18'695,661.60	4'644,375.56	8'003,706.04	12'648,081.60	6'047,580.00

Tabla 6.24 Cuadro de los flujos anuales

La Figura 6.16 muestra las curvas oferta demanda para la Planta de Asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 300.

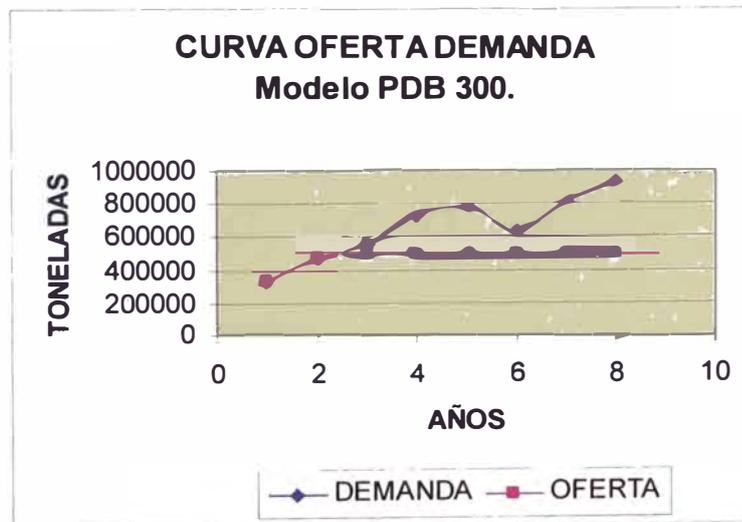


Figura 6.16 Curvas oferta demanda

e.- Obtención del Valor Actual Neto VAN:

$$VAN(B) = \left[\frac{2'471,782.12}{(1+0.14)^1} + \frac{5'406,036.68}{(1+0.14)^2} + \frac{6'047,580.00}{(1+0.14)^3} + \frac{6'047,580.00}{(1+0.14)^4} + \frac{6'047,580.00}{(1+0.14)^5} + \frac{6'047,580.00}{(1+0.14)^6} + \frac{6'047,580.00}{(1+0.14)^7} + \frac{6'047,580.00}{(1+0.14)^8} \right] - 1'884,636.48 + \frac{848,086.42}{(1+0.14)^8}$$

$$VAN(B) = \$US.22'836,256.84$$

6.14.3 Cálculo del VAN para el tamaño de Planta C con capacidad de 640,816 tn/año

a.- Cálculo de los Ingresos

Los Ingresos se calculan aplicando la siguiente fórmula:

$$I_t = P \times Q_p$$

Donde:

- I_t = Ingresos anuales.
 P = Precio de venta por tonelada de mezcla asfáltica.
 Q_p = Cantidad producida.

$$I_1 = 37.87 \times 328,350 = 12'434,614.50$$

$$I_2 = 37.87 \times 464,058 = 17'573,876.46$$

$$I_3 = 37.87 \times 553,590 = 20'964,453.30$$

$$I_{4-8} = 37.87 \times 640,816 = 24'267,701.92$$

b.- Cálculo del Costo Fijo

El Costo Fijo se obtiene a partir de la cantidad producida a plena capacidad de acuerdo al tamaño de cada planta, la ecuación es la siguiente:

$$C_f = C_u \times Q_{pm} \times A$$

Donde:

- C_f = Costos fijos anuales.
 C_u = Costo unitario por tonelada de mezcla asfáltica.
 Q_{pm} = Cantidad producida a plena capacidad.
 A = Aporte en %.

$$C_f = 24.34 \times 640,816 \times 0.3488 = 5'440,394.55$$

c.- Cálculo del Costo Variable

El Costo Variable se obtiene a partir de las cantidades efectivas producidas en cada período, la ecuación es la siguiente:

$$C_v = C_u \times Q_{pe} \times B$$

Donde:

- C_v = Costos variables anuales.
 C_u = Costo unitario por tonelada de mezcla asfáltica.
 Q_{pe} = Cantidad producida efectiva.
 B = Aporte en %.

$$C_1 = 24.34 \times 328,050 \times 0.6511 = 5'198,862.26$$

$$C_2 = 24.34 \times 464,058 \times 0.6511 = 7'354,286.31$$

$$C_3 = 24.34 \times 553,590 \times 0.6511 = 8'773,169.21$$

$$C_{4-8} = 24.34 \times 640,816 \times 0.6511 = 10'155,507.14$$

d.- Cálculo del Flujo Anual

El Flujo Anual se obtiene a partir de la diferencia entre los ingresos y el costo total, la ecuación es la siguiente:

$$FA = I - CT$$

Donde:

- FA = Flujos Anuales.
- I = Ingresos Totales.
- CT = Costos Totales.

Realizando los cálculos correspondientes y sistematizando los resultados se elabora el cuadro del flujos anuales, como lo muestra la Tabla 6.25.

AÑO	PRODUCCIÓN	INGRESOS	COSTO FIJO	COSTO VARIABLE	COSTO TOTAL	FLUJO ANUAL
1	328,050	12'434,614.50	5'440,394.55	5'198,862.26	10'639,256.81	1'795,357.69
2	464,058	17'573,876.46	5'440,394.55	7'354,286.31	12'794,680.86	4'779,195.60
3	553,590	20'964,453.30	5'440,394.55	8'773,169.21	14'213,563.76	6'750,889.54
4	640,816	24'267,701.92	5'440,394.55	10'155,507.14	15'595,901.69	8'671,800.23
5	640,816	24'267,701.92	5'440,394.55	10'155,507.14	15'595,901.69	8'671,800.23
6	640,816	24'267,701.92	5'440,394.55	10'155,507.14	15'595,901.69	8'671,800.23
7	640,816	24'267,701.92	5'440,394.55	10'155,507.14	15'595,901.69	8'671,800.23
8	640,816	24'267,701.92	5'440,394.55	10'155,507.14	15'595,901.69	8'671,800.23

Tabla 6.25 Cuadro de los flujos anuales

La Figura 6.17 muestra las curvas oferta demanda para la Planta de Asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 400.

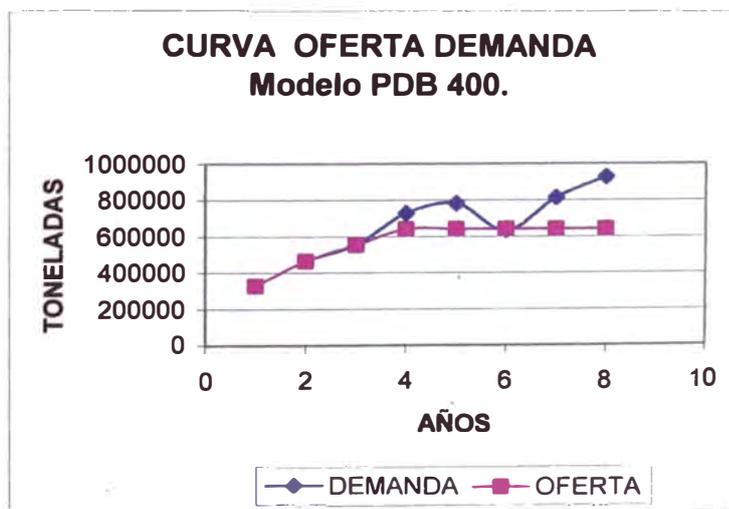


Figura 6.17 Curvas oferta demanda

e.- Obtención del Valor Actual Neto VAN:

$$VAN(C) = \left[\begin{array}{cccc} 1'79535769 & 4'77919560 & 6'75088954 & 8'67180053 \\ (1+0.14)^1 & (1+0.14)^2 & (1+0.14)^3 & (1+0.14)^4 \\ + & + & + & + \\ 8'67180053 & 8'67180053 & 8'67180053 & 8'67180053 \\ (1+0.14)^5 & (1+0.14)^6 & (1+0.14)^7 & (1+0.14)^8 \end{array} \right] - 2'24455589 + \frac{1'01005015}{(1+0.14)^8}$$

$$VAN(C) = \$US.28'013,067.31$$

La Tabla 6.26 muestra los valores de los Valores Actuales Netos VAN para los tres tamaños de plantas, desde el punto de vista del VAN, la planta de asfalto que ofrece las mejores ventajas es la Planta de Asfalto C Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 400 con capacidad de 640.816 tn/año.

PLANTA	A	B	C
VAN \$US	16'333,424.60	22'836,256.84	28'013,067.01

Tabla 6.26 Valores Actuales Netos (VANs) de los tres tamaños de plantas

6.15 Escenarios Presupuestales

El Programa Quinquenal 2,006-2,010 del Sistema de Gestión de Infraestructura Vial elaborado por el Provías Nacional a través del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional del Ministerio de Transportes y Comunicaciones plantea que de acuerdo a lo establecido en el Sistema de Gestión de Infraestructura Vial relativo a la generación de escenarios presupuestales se han considerado varios escenarios de inversión, cinco para Carreteras, uno para Puentes, uno para Infraestructura de Seguridad Vial y dos para Emergencias Viales, cabe aclarar que para el caso de Puentes sin bien se trata de un único escenario el mismo consiste en un listado priorizado de actuaciones, el cual puede modificarse estableciendo una nueva línea de corte.

Los resultados e impactos de los diferentes escenarios se consideran en el presente ítem para cada una de las áreas tratadas y serán los indicadores presentados los que asistan a las autoridades en la evaluación y determinación del escenario de inversión para el período 2,006 – 2,010.

6.15.1 Escenarios presupuestales de carreteras

Del procesamiento y análisis técnico - económico realizado utilizando HDM 4 surge el cronograma de tareas para cada uno de los tramos homogéneos a lo largo del período de estudio considerado (15 años). De las distintas alternativas consideradas en cada tramo se elige la de mayor Valor Actual Neto (VAN) (la que generalmente coincide con la de mayor Tasa Interna de Retorno), de ese modo se obtiene para cada tramo de la Red Vial analizada la alternativa de inversión más rentable (Escenario Óptimo), a la cual le

corresponden diferentes obras y tareas de mantenimiento y, por lo tanto, diferentes flujos de capital (obras) y costos recurrentes (mantenimiento).

Cabe aclarar que la denominación de óptimo no se refiere a condición de servicio de la red sino que indica que se adopta en cada caso la estrategia más rentable, es decir se obtienen los máximos los beneficios económicos para la sociedad.

La suma de los flujos de capital y costos recurrentes pueden superar el presupuesto asignado, por tal motivo se consideran diferentes escenarios de inversión para diferentes topes presupuestales, en todos ellos el modelo selecciona para cada tramo de la red aquellas obras que maximizan el VAN del conjunto de proyectos para ese escenario presupuestal.

Fueron analizados cuatro escenarios con diferentes restricciones presupuestales en el período 2,006- 2,010, en los cuatro casos a partir del año 2,011 se aumenta los topes presupuestales de los dos quinquenios subsiguientes a 500 millones de dólares.

6.15.1.1 Descripción y determinación de los escenarios de inversión

Los criterios utilizados para la determinación de los escenarios de inversión fueron los siguientes:

- Determinar la inversión necesaria para el período 2,006 – 2,010 en proyectos de rehabilitación de carreteras, que maximicen los beneficios netos (VAN) descontados al 14% a lo largo de 15 años sin tener en cuenta restricciones presupuestales (Escenario Óptimo).
- Analizar escenarios de inversión que tengan en cuenta las posibles restricciones presupuestales del período 2,006 – 2,010 indicadas por la Gerencia de Provías Nacional, que determinen el máximo VAN descontado al 14% para el conjunto de proyectos lo largo de un período de 15 años. Los topes presupuestales antedichos se estableces a los flujos de capital y no a los costos recurrentes, los mismos han sido: Escenario 2: 400 millones de dólares; Escenario 3: 340 millones de dólares; Escenario 4: 280 millones de dólares; Escenario 5: 220 millones de dólares.

El Escenario Óptimo de inversión resultante obtiene una tasa interna de retorno global del 45%, requiriendo 470 millones de US\$ de recursos financieros para cubrir los costos de capital y 88 millones de US\$ para cubrir los costos recurrentes en el período 2,006 – 2,010, los que generan beneficios netos descontados al 14% (VAN) de 294 millones de US\$, para un horizonte de evaluación de quince años.

El Escenario 2 de inversión obtiene una tasa interna de retorno global del 46%, requiriendo 398 millones de US\$ de recursos financieros para cubrir los costos de capital y 86 millones de US\$ para cubrir los costos recurrentes en el período 2,006 – 2,010, los que generan beneficios netos descontados al 14% (VAN) de 213 millones de US\$, para un horizonte de evaluación de quince años.

El Escenario 3 de inversión obtiene una tasa interna de retorno global del 48%, requiriendo 340 millones de US\$ de recursos financieros para cubrir los costos de capital y 84 millones de US\$ para cubrir los costos recurrentes en el período 2,006 –

2,010, los que generan beneficios netos descontados al 14% (VAN) de 148 millones de US\$, para un horizonte de evaluación de quince años.

El Escenario 4 de inversión obtiene una tasa interna de retorno global del 60%, requiriendo 280 millones de US\$ de recursos financieros para cubrir los costos de capital y 84 millones de US\$ para cubrir los costos recurrentes en el período 2,006 – 2,010, los que generan beneficios netos descontados al 14% (VAN) de 119 millones de US\$, para un horizonte de evaluación de quince años.

El Escenario 5 de inversión obtiene una tasa interna de retorno global del 111%, requiriendo 220 millones de US\$ de recursos financieros para cubrir los costos de capital y 83 millones de US\$ para cubrir los costos recurrentes en el período 2,006 – 2,010, los que generan beneficios netos descontados al 14% (VAN) de 57 millones de US\$, para un horizonte de evaluación de quince años.

El resumen de los indicadores de rentabilidad de cada escenario se presenta en el Tabla 6.27.

Escenario	Costos de capital 2006 - 2010 (M US\$)	Costos recurrentes 2006 - 2010 (M US\$)	Total 2006-2010 (M US\$)	VAN a 15 años (MUS\$)	TIR
Optimo	470	88	558	294	45%
2	398	86	484	213	46%
3	340	84	424	148	48%
4	280	84	364	119	60%
5	220	83	303	57	111%

Fuente: SGIV GPP-Provias Nacional – MTC Lima, Mayo de 2006

Tabla 6.27 Indicadores de rentabilidad de cada escenario

6.15.2 Consideraciones para la elección del escenario de inversión

Para determinar que escenario de inversión se deben comparar no sólo los cinco escenarios de inversión descritos anteriormente para el período 2,006 –2,010 sino que resulta conveniente extender el período de análisis de las inversiones a diez años.

El Escenario Óptimo tiene costos de capital de 603 millones de US\$ en el período 2,006 –2,015 (de los cuales 470 millones de US\$ se invierten entre 2,006 y 2,010) generando un VAN de 294 millones de US\$.

El Escenario 2 tiene costos de capital de 693 millones de US\$ en el período 2,006 – 2,015 (de los cuales 398 millones de US\$ se invierten entre 2006 y 2010) generando un VAN de 213 millones de US\$.

El Escenario 3 tiene costos de capital de 715 millones de US\$ en el período 2,006 – 2,015 (de los cuales 340 millones de US\$ se invierten entre 2006 y 2010) generando un VAN de 148 millones de US\$.

El Escenario 4 tiene costos de capital de 686 millones de US\$ en el período 2,006 – 2,015 (de los cuales 280 millones de US\$ se invierten entre 2006 y 2010) generando un VAN de 119 millones de US\$.

El Escenario 5 tiene costos de capital de 654 millones de US\$ en el período 2,006 – 2,015 (de los cuales 220 millones de US\$ se invierten entre 2,006 y 2,010) generando un VAN de 57 millones de US\$.

En el Tabla 6.28 se presenta el resumen de los costos de capital requeridos a cinco y diez años para cada uno de los escenarios presupuestales considerados.

Escenario	Costos de capital 2006 - 2010 (M US\$)	Costos de capital 2011 - 2015 (M US\$)	Costos de capital 2006 - 2015 (M US\$)	VAN a 15 años (MUS\$)
Optimo	470	134	603	294
2	398	295	693	213
3	340	375	715	148
4	280	406	686	119
5	220	434	654	57

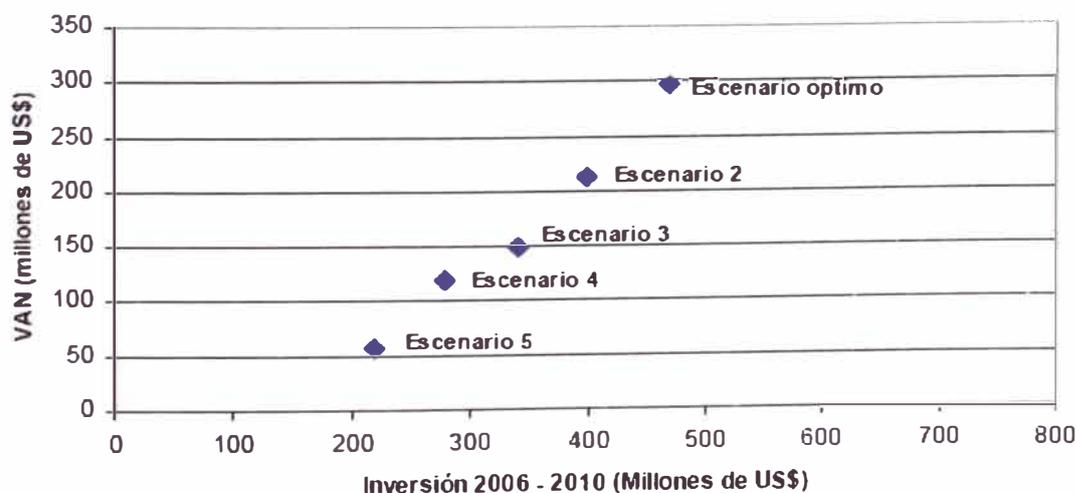
Fuente: SGIV GPP-Provías Nacional – MTC Lima, Mayo de 2006

Tabla 6.28 Costos de capital

Resulta claro pues, que la menor inversión inicial en el período 2,006 – 2,010 implica mayor inversión en el período 2,006 – 2,015 y menor rentabilidad de la inversión.

Una disminución de la inversión dentro del período 2,006 – 2,010 determinará no sólo el incremento de las inversiones del próximo período sino además y un mayor costo de operación vehicular por el deterioro de la red, el cual se ve reflejado en una sensible pérdida del VAN de las inversiones realizadas.

La Figura 6.18 presenta la relación entre la inversión (solamente costos de capital) en el período 2,006-2,010 y en VAN en los 15 años de análisis, como se puede apreciar existe en este caso una relación directa entre inversión y VAN.

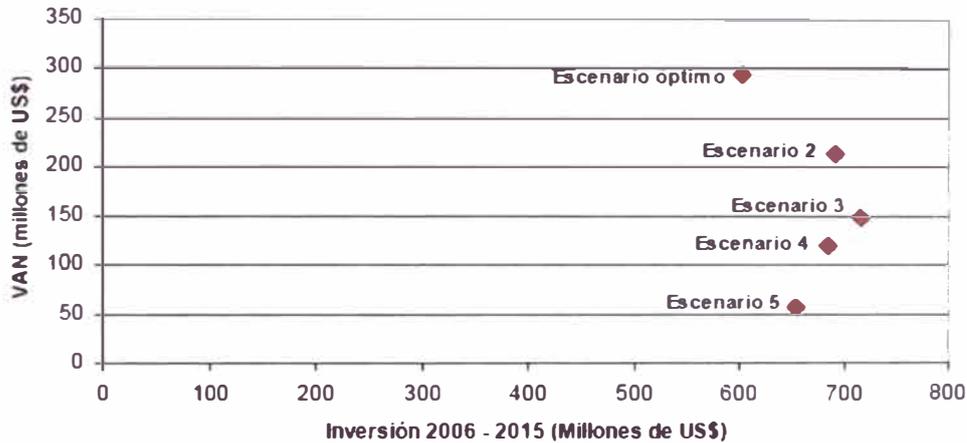


Fuente: SGIV GPP-Provías Nacional – MTC Lima, Mayo de 2006

Figura 6.18 VAN a 15 años vs inversión en los primeros 5 años

La disminución del VAN que se aprecia entre los distintos escenarios está determinada en gran medida por los costos de operación vehicular, los cuales son mayores en la medida que disminuye la inversión.

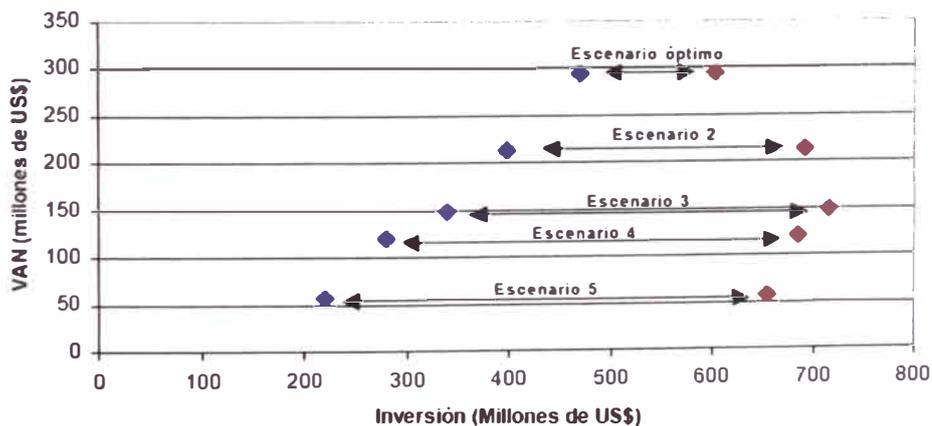
El impacto de la disminución de la inversión en el período 2,006-2,010 resulta más evidente si se aprecia la Figura 6.19, en el cual se grafica la inversión (costos de capital) en el período 2,006-2,015 en relación al VAN en el período de análisis (15 años).



Fuente: SGIV GPP-Provías Nacional – MTC Lima, Mayo de 2006

Figura 6.19 VAN a 15 años vs inversión en los primeros 10 años

Finalmente se presenta en el gráfico de la Figura 6.20 las dos gráficas anteriores integradas que indican en azul la inversión para el período 2,006-2,010 y el rojo la inversión para el período 2,006-2,015, lo que ilustra claramente que un aparente “ahorro” resulta, cuando se evalúa a más largo plazo en un mayor “gasto”.



Fuente: SGIV GPP-Provías Nacional – MTC Lima, Mayo de 2006

Figura 6.20 VAN a 15 años vs inversión acumulada en 5 y 10 años

6.16 Cálculo de la Tasa Interna de Retorno TIR de cada tamaño de planta

Para realizar el cálculo de la Tasa Interna de Retorno TIR para cada tamaño de planta aplicaremos la siguiente ecuación:

$$VAN(T) = \left[\sum_{t=1}^n \frac{BN_t(T)}{(1+r)^t} \right] - I(T) + \frac{VR(T)}{(1+r)^t} = 0$$

Donde:

- VAN(T) = Valor Actual Neto del Tamaño de Planta de Asfalto en Estudio.
- BNt(T) = Beneficios Netos en el Período t del Tamaño de Planta de Asfalto en Estudio corresponden a los Flujo Netos Totales.
- I(T) = Inversión del Tamaño de Planta de Asfalto en Estudio.
- VR(T) = Valor Residual del Tamaño de Planta de Asfalto en Estudio.
- r = Tasa Interna de Retorno
- t = Período.
- n = Número de Períodos.

La Tabla 6.29 muestra los valores de las Tasa Interna de Retorno para cada tamaño de planta.

PLANTA	A	B	C
TIR %	33.71	29.04	24.93
TASA DE DESCUENTO i %	14.00	14.00	14.00

Tabla 6.29 Valores de la Tasa Interna de Retorno

Desde el punto de vista de la Tasa Interna de Retorno la planta que ofrece las mejores ventajas es la Planta de Asfalto A Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 200 con capacidad de 360,096 tn/año y una TIR = 33.71%.

6.17 Cálculo de la relación Beneficio / Costo, B/C de cada tamaño de planta

Para realizar el cálculo de la relación Beneficio/Costo, B/C, para cada tamaño de planta se aplica la siguiente ecuación:

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}}$$

Donde:

B_t = Ingresos Totales en el Período t.

C_t = Costos Totales en el Período t.

i = Tasa de Rendimiento 14%.

n = Número de Periodos.

6.17.1 *Cálculo de la relación Beneficio/Costo para el tamaño de Planta A con capacidad de 360,096 tn/año*

Reemplazando los valores de los Ingresos Totales Anuales y de los costos Totales Anuales debidamente actualizados con la Tasa de Descuento $i = 14\%$ se tiene:

$$B/C = \frac{\left[\begin{array}{cccc} 12'434,614.50 & 13'636,835.52 & 13'636,835.52 & 13'636,835.52 \\ (1+0.14)^1 & (1+0.14)^2 & (1+0.14)^3 & (1+0.14)^4 \\ 13'636,835.52 & 13'636,835.52 & 13'636,835.52 & 13'636,835.52 \\ (1+0.14)^5 & (1+0.14)^6 & (1+0.14)^7 & (1+0.14)^8 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{cccc} 9'181,55295 & 9'711,78912 & 9'711,78912 & 9'711,78912 \\ (1+0.14)^1 & (1+0.14)^2 & (1+0.14)^3 & (1+0.14)^4 \\ 9'711,78912 & 9'711,78912 & 9'711,78912 & 9'711,78912 \\ (1+0.14)^5 & (1+0.14)^6 & (1+0.14)^7 & (1+0.14)^8 \end{array} \right]}{44'586,54840} = 1.395$$

Por lo tanto la relación Beneficio / Costo B/C es:

$$B/C = 1.395$$

6.17.2 *Cálculo de la relación Beneficio/Costo para el tamaño de Planta B con capacidad de 493,680 Tn/año*

Reemplazando los valores de los Ingresos totales anuales y de los costos totales anuales debidamente actualizados con la Tasa de Descuento $i = 14\%$ se tiene:

$$B/C = \frac{\left[\begin{array}{cccc} 12'434,614.50 & 17'573,876.46 & 18'695,661.60 & 18'695,661.60 \\ (1+0.14)^1 & (1+0.14)^2 & (1+0.14)^3 & (1+0.14)^4 \\ 18'695,661.60 & 18'695,661.60 & 18'695,661.60 & 18'695,661.60 \\ (1+0.14)^5 & (1+0.14)^6 & (1+0.14)^7 & (1+0.14)^8 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{cccc} 9'962,832.38 & 12'167,839.78 & 12'648,081.60 & 12'648,081.60 \\ (1+0.14)^1 & (1+0.14)^2 & (1+0.14)^3 & (1+0.14)^4 \\ 12'648,081.60 & 12'648,081.60 & 12'648,081.60 & 12'648,081.60 \\ (1+0.14)^5 & (1+0.14)^6 & (1+0.14)^7 & (1+0.14)^8 \end{array} \right]}{55'947,716.80} = 1.437$$

Por lo tanto la relación Beneficio / Costo B/C es:

$$B/C = 1.437$$

6.17.3 Cálculo de la relación Beneficio/Costo para el tamaño de Planta C con capacidad de 640,816 Tn/año

Reemplazando los valores de los ingresos totales anuales y de los costos totales anuales debidamente actualizados con la Tasa de Descuento $i = 14\%$ se tiene:

$$B/C = \frac{\left[\frac{12'434,614.50}{(1+0.14)^1} + \frac{17'573,876.46}{(1+0.14)^2} + \frac{20'964,453.30}{(1+0.14)^3} + \frac{24'267,701.92}{(1+0.14)^4} + \frac{24'267,701.92}{(1+0.14)^5} + \frac{24'267,701.92}{(1+0.14)^6} + \frac{24'267,701.92}{(1+0.14)^7} + \frac{24'267,701.92}{(1+0.14)^8} \right]}{\left[\frac{10'639,256.81}{(1+0.14)^1} + \frac{12'794,680.86}{(1+0.14)^2} + \frac{14'213,563.76}{(1+0.14)^3} + \frac{15'595,901.69}{(1+0.14)^4} + \frac{15'595,901.69}{(1+0.14)^5} + \frac{15'595,901.69}{(1+0.14)^6} + \frac{15'595,901.69}{(1+0.14)^7} + \frac{15'595,901.69}{(1+0.14)^8} \right]} = \frac{94'814,384.90}{64'910,843.90} = 1.461$$

Por lo tanto la relación Beneficio / Costo B/C es:

$$B/C = 1.461$$

La Tabla 6.30 muestra los valores de la relación Beneficio/Costo para los tres tamaños de plantas, desde el punto de vista de B/C, la planta de asfalto que ofrece las mejores ventajas es la Planta de Asfalto C Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 400 con capacidad de 640,816 tn/año.

PLANTA	A	B	C
B/C	1.395	1.437	1.461

Tabla 6.30 Valores de la relación Beneficio/Costo para cada tamaño de planta

6.18 Cálculo del Flujo Anual Equivalente (FAE) de cada tamaño de planta

EL FAE es un indicador que se emplea para elegir de varias alternativas de inversión mutuamente excluyentes con diferentes horizontes, dada una tasa de descuento fija.

Representación Matemática:

$$FAE = VAN \left\{ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right\}$$

Donde:

FAE = Factor Anual Equivalente

VAN = Valor Actual Neto

i = Tasa de Rendimiento.

n = Número de Periodos.

Se sabe que:

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Donde FRC = Factor de Recuperación de Capital.

Por lo tanto:

$$FAE = VAN * FRC$$

La Tabla 6.31 muestra los valores del Flujo Anual Equivalente FAE para los tres tamaños de plantas, desde el punto de vista del FAE, la planta de asfalto que ofrece las mejores ventajas es la Planta de Asfalto C Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 400 con capacidad de 640,816 tn/año.

PLANTA	A	B	C
VAN \$US	16'333,424.60	22'836,256.84	28'013,067.01
$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	0.215570024	0.215570024	0.215570024
FAE	3'520,996.73	4'922,812.44	6'038,777.53

Tabla 6.31 Valores del Flujo Anual Equivalente FAE para cada tamaño de planta

6.19 Período de recuperación de la inversión o capital de cada tamaño de planta

El Período de Recuperación del Capital también es conocido como el plazo de recuperación del capital o el período de recuperación de la inversión. Según Ahuja, Hira, Hira Walsh, Michael: Ingeniería de Costos y Administración de Proyectos indican que *“el período de recuperación también es un método común para evaluar una inversión que presenta una técnica sencilla basada en la forma en que rápidamente se puede recuperar el capital invertido para usos en inversiones futuras”*.

El Período de Recuperación del Capital es un indicador que muestra el número de años necesarios para que el inversionista logre recuperar el capital invertido en la adquisición de la planta de asfalto en caliente. Por lo tanto, es un valor absoluto ya que indica el número de años o el tiempo en que se recuperará la inversión. Entre varias propuestas se debe elegir aquella que presente el menor período de recuperación.

El Período de Recuperación del Capital matemáticamente se define como el monto de la inversión de la adquisición entre el beneficio neto:

$$PR = \frac{Inv}{BN}$$

Donde:

- PR = Período de Recuperación del Capital.
Inv = Monto de la Inversión de Adquisición de la Planta de Asfalto.
BN = Beneficios Netos o Flujos Netos Anuales.

Para nuestro caso se toma el Flujo Neto Anual correspondiente al primer año para los tres tamaños de plantas:

$$PR(A) = \frac{1'525,525.00}{3'253,061.55} = 0.469 \text{ años} \Rightarrow 5 \text{ meses}$$

$$PR(B) = \frac{1'884,636.48}{2'471,782.12} = 0.762 \text{ años} \Rightarrow 8 \text{ meses}$$

$$PR(C) = \frac{2'244,555.89}{1'795,357.69} = 1.25 \text{ años}$$

6.20 Análisis de sensibilidad

La importancia del análisis de sensibilidad se manifiesta en el hecho de que los valores de las variables que se han utilizado para evaluar el proyecto de adquisición de la planta de asfalto, pueden tener desviaciones con efectos de consideración en la medición de sus resultados. La evaluación del proyecto será sensible a las variaciones de uno o más parámetros si, al incluir estas variaciones en el criterio de evaluación empleado, la predecisión inicial cambia. El análisis de sensibilidad, a través de los diferentes modelos, revela el efecto que sobre la rentabilidad tienen las variaciones en los pronósticos de las variantes relevantes.

Visualizar que variables tienen mayor efecto en el resultado de la evaluación de proyectos frente a distintos grados de error en su estimación, permite decidir acerca de la necesidad de realizar estudios más profundos de estas variables, con el objeto de mejorar las estimaciones y reducir el grado de riesgo e incertidumbre por error.

La repercusión que un error en una variable tiene sobre el resultado de la evaluación, varía dependiendo de la vida económica del proyecto en que ese error se cometa. El valor tiempo del dinero explica que errores en los periodos finales del flujo de fondos para la evaluación tengan menor influencia que los errores en los periodos más cercanos. Sin embargo, son más frecuentes las equivocaciones en las estimaciones futuras, por lo incierta que resulta la proyección de cualquier variable incontrolable, por ejemplo, los cambios en los niveles de los precios reales del producto final o insumo.

El costo de los materiales e insumos, el precio del producto final, las proyecciones de la demanda y la oferta la tecnología de las plantas de asfalto en caliente u otras variables

independientes que se utilizan para la formulación del proyecto a nivel de factibilidad, son normalmente los que se estiman como los más probables.

Por consiguiente, los valores que se obtienen de los indicadores usados en la evaluación son también los estimadores más probables; pero por tratarse de valores futuros es muy probable que los valores de las variables independientes que se presentan en la realidad no coincidan con los estimados, siendo mayores que éstos en algunos casos y menores en otros.

En cambio los indicadores de valor del proyecto, como el VAN, la TIR, B/C y otros, presentan en la vida real valores diferentes a los estimadores más probables, es decir, a aquellos calculados sobre la base de algún juego de mejores estimaciones de las variables independientes.

Así, en la práctica las decisiones de inversión dependen de los valores de dichos indicadores; pero es conveniente en algunos casos imprescindibles, contar con alguna información sobre su comportamiento frente a variaciones de las variables independientes.

Esta información es particularmente necesaria cuando hay incertidumbre acerca del comportamiento futuro de las variables independientes y cuando existe la posibilidad de que este afecte sustancialmente el valor del proyecto de adquisición de la planta de asfalto. El estudio orientado a obtener dicha información es lo que se denomina como Estudio de Sensibilidad, Riesgo e Incertidumbre.

La importancia del estudio de sensibilidad se manifiesta en el hecho de que los valores y variables independientes que se han utilizado para llevar a cabo la evaluación del proyecto de adquisición de la planta de asfalto pueden tener desviaciones con efectos de consideración en la medición de sus resultados.

Se dice que un proyecto es sensible a las variaciones de uno o más indicadores o parámetros de medición, si se incluyen estas variaciones en el criterio o técnica de evaluación y la predicción inicial cambia. El análisis de sensibilidad a través de los diferentes métodos, revela el efecto del proyecto frente a la rentabilidad con ciertas variaciones de las variables relevantes pronosticados.

Visualizar que variables tienen mayor efecto en el resultado frente a los distintos grados de error en su estimación, permite decidir acerca de la necesidad de realizar estudios más profundos de las variables independientes, con el objeto de mejorar los estimados y reducir el grado de riesgo por error de predicción. La repercusión que un error estimado tiene en una variable frente al resultado de la evaluación del proyecto varía el valor del mismo, dependiendo del momento de la vida útil del proyecto en que ese error tenga efecto.

La sensibilidad o sensibilidad de un proyecto es la relación entre la variación del valor del mismo y de algunas de las variables independientes. Cuando se desea comparar las variaciones relativas, este concepto resulta idéntico al estudio de elasticidad. Así por ejemplo, si a una pequeña variación relativa de la capacidad utilizada de la planta de asfalto corresponde una gran variación relativa de las utilidades anuales netas, el coeficiente de elasticidad de las utilidades anuales netas, el coeficiente de elasticidad de

las utilidades con la capacidad utilizada debe ser bastante mayor que uno. En este caso se dice que el proyecto es muy sensible a las variaciones de la capacidad utilizada.

La sensibilidad es una teoría cuya definición operacional y medición requieren de tratamientos estadísticos adecuados. A fin de que los beneficios netos o valor del proyecto, medidos por medio de los indicadores tales como: VAN, TIR, B/C, FAE, etc., pueden en la vida real asumir diversos valores, pero cada valor tiene una probabilidad de ocurrencia, susceptible de ser calculado, teniendo como datos los valores posibles de cada variable independiente y la probabilidad asociada a cada posible valor.

En efecto, cada variable independiente puede asumir diversos valores, cada uno de los cuales se puede estimar, así como su probabilidad de ocurrencia, sobre la base de la experiencia y conocimiento de casos similares. Estas estimaciones producen las distribuciones de probabilidades de las variables independientes.

A su vez la probabilidad de cada posible valor de los indicadores de valor de un proyecto es igual al producto de las probabilidades asociadas a cada uno de los valores de las variables independientes utilizadas como datos para el cálculo del indicador; ésta es una aplicación directa de la ley de multiplicación de la teoría de las probabilidades.

En efecto, si se tiene un conjunto de variables independientes, tales como 1, 2, 3,...n y asumimos para cada una de dichas variables un determinado valor tal como $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ y utilizamos estos valores para calcular el indicador del proyecto, si a cada uno de las variables corresponde una determinada probabilidad, la ocurrencia simultánea de los valores indicados tiene la siguiente probabilidad:

$$P(V_1, V_2, V_3, \dots, V_n) = p(V_1) \times p(V_2) \times p(V_3) \times \dots \times p(V_n) = p$$

Habrán tantos valores de la ecuación como los juegos de valores de las variables independientes, estando cada posible valor asociado a un determinado grado de probabilidad.

El número de posibles juegos de valores de las variables independientes y por consiguiente valores de la ecuación son igual al producto aritmético acumulativo de los números de posibles de cada una de dichas variables independientes; así, por ejemplo, si asumimos que n_i representa el número de posibles valores que puede asumir la variable i , entonces el número total de posibles juegos de valores será igual a:

$$n_1, n_2, n_3, \dots, n_n = N$$

Existe N posibles valores de la ecuación, cada uno de los asociados a un determinado valor p (probabilidad); en otras palabras, existe una distribución de probabilidades de las variables independientes necesarias para el cálculo. La Figura 6.21 muestra la distribución de probabilidades de los VANs de las tres plantas de asfalto.

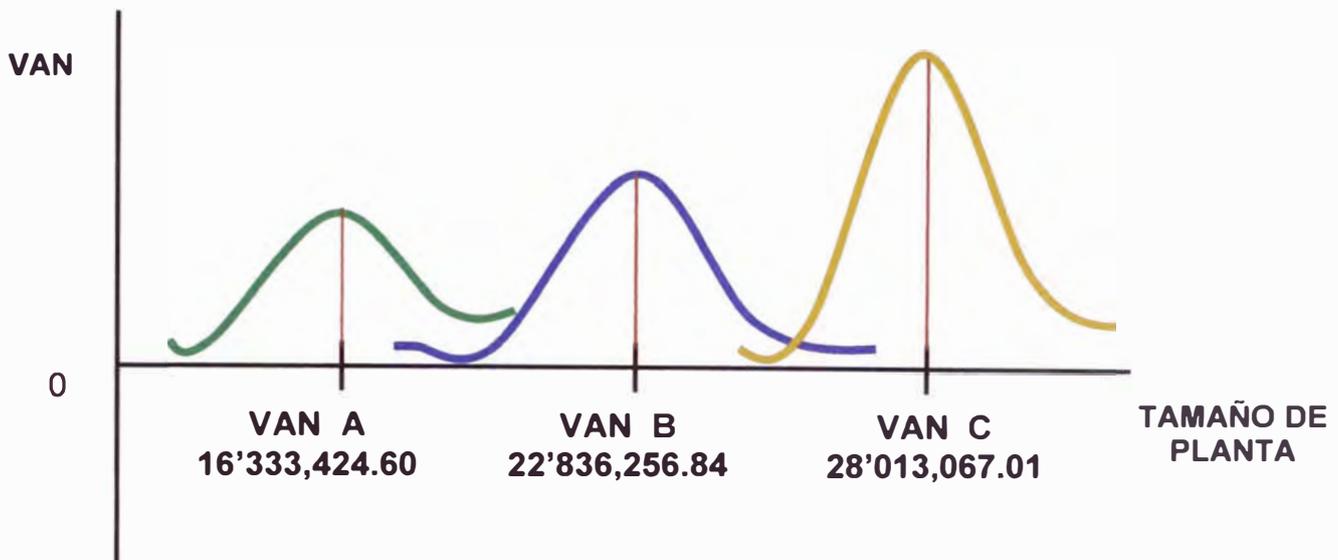


Figura 6.21 *Distribución de probabilidades de los VANs de los tres tamaños de plantas*

En la misma Figura 6.21 se tiene las distribuciones de las probabilidades del VAN de cada tamaño de planta de asfalto, la misma que proporciona elementos de juicio que pueden conducir a un cambio de decisión con respecto a la que habría tomado en caso de no conocer dichas distribuciones de probabilidades.

Considerando solo las estimaciones más probables del VAN respectivo, la Planta de Asfalto C tiene un VAN mayor que los VANs de las Plantas A y B. Pero las distribuciones de probabilidades indican que a pesar de tener un menor VAN esperado, las Plantas A y B son más seguras y uniformes que la Planta C, debidos a que las probabilidades que su VANs descendan significativamente no son muy revelantes.

En cambio existen considerables probabilidades de que el VAN de la Planta A resulte menor que el VAN de la Planta B y C. Esto puede conducir a hacer preferible la Planta B, a pesar de su menor VAN esperado respecto de la Planta C.

Por otra parte, si la preferencia por el riesgo predomina en la decisión de adquirir la planta de asfalto, es posible que se le otorgue más peso al hecho de que el Planta C puede producir beneficios mucho mayores que las Plantas A y B, como lo indica la distribución de probabilidades.

La preferencia por el riesgo es un fenómeno que en una parte es subjetivo y en otro condicionado por la situación financiera de la empresa u organismo. Si se trata de una empresa con recursos financieros limitados y que por esta razón pudiera colocarse en situación peligrosa económicamente, en este caso de sufrir perdidas, es probable que considere la decisión más racional y se elija las Plantas A o B.

En cambio si la empresa o entidad goza de gran solvencia financiera y por ello la posibilidad de pérdida involucrada en la Planta C no significa un fracaso considerable, es probable que se prefiera ese tipo de planta, ya que junto con dicha posibilidad existe la de obtener ganancias mayores en cortos periodos de tiempo, lo que pudiera construir en este caso el argumento decisivo para efectuar la elección.

El estudio o análisis de sensibilidad es fundamentalmente de carácter bidimensional, es decir, consiste en el examen de la correlación entre dos variables, siendo la variable dependiente algún indicador del valor del proyecto, tal como el VAN, al TIR u otros indicadores y las variables independientes algunos de las cantidades o precios de los insumos o productos.

Así mismo el estudio de sensibilidad permite conocer la intensidad de cambios en el valor intrínseco del proyecto ante cambios de las variables independientes. También ayuda a identificar ciertos valores críticos de la variable independiente, por ejemplo, el precio máximo de la tecnología del tambor mezclador, a partir el cual la planta deja de ser rentable o se hace menos ventajosa frente a otras plantas de asfalto alternativas.

El estudio de sensibilidad de proyectos es determinístico, es decir, cada cambio supuesto en el valor de la variable independiente determina un cambio en la variable dependiente, ya que se asume que las demás variables mantienen sus valores originales constantes.

Dado que los cambios de una variable pueden presentarse en términos relativos o absolutos y que el análisis de sensibilidad es bidimensional, este puede adoptar cuatro formas alternativas, como se muestra en la Tabla 6.32.

FORMA	CAMBIOS EN LA VARIABLE	
	INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
1	Absolutos	Absolutos
2	Absolutos	Relativos
3	Relativos	Absolutos
4	Relativos	Relativos

Tabla 6.32 Variables del estudio de sensibilidad

A continuación se presentan el Análisis de Sensibilidad de los Flujos para los tres tamaños de plantas: A, B y C considerando una variación de \pm \$ US 1'000,000 y \pm \$ US 2'000,000 de los Flujos Netos Totales Anuales incluyendo la Inversión y el Valor de Rescate.

La Tabla 6.33 presenta la variación de los flujos en \pm \$ US 1'000,000 y del VAN para la planta A

PLANTA A	
VARIACIÓN DE LOS FLUJOS NETOS TOTALES ANUALES	VAN
-1'000,000.00	11'694,560.71
+1'000,000.00	20'972,288.50
VARIACIÓN DEL VAN: 179.33%	

Tabla 6.33 Variación de los flujos en \pm \$ US 1'000,000 y del VAN de la planta A

La Figura 6.22 muestra las curvas de sensibilidad de los flujos con variación de \pm \$ US 1'000,000 de la planta A.

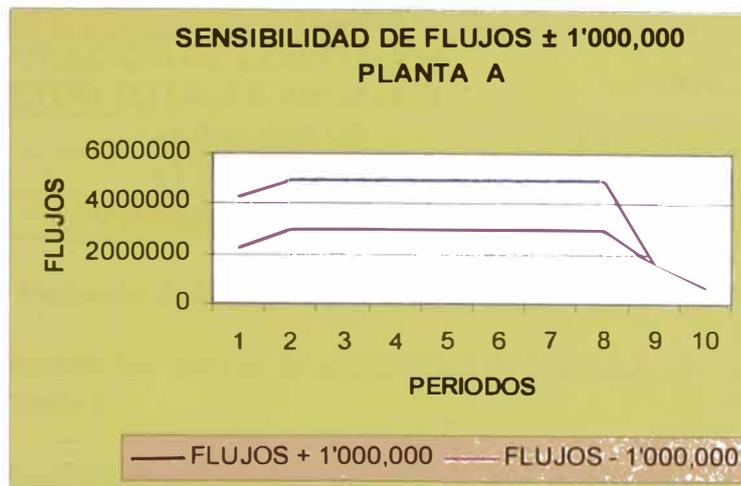


Figura 6.22 Curvas de sensibilidad de los flujos con variación de \pm \$ US 1'000,000 de la planta A

La Tabla 6.34 presenta la variación de los flujos en \pm \$ US 1'000,000 y del VAN de la planta B.

PLANTA B	
VARIACIÓN DE LOS FLUJOS NETOS TOTALES ANUALES	VAN
-1'000,000.00	18'197,392.95
+1'000,000.00	27'475,120.74
VARIACIÓN DEL VAN:	150.98%

Tabla 6.34 Variación de los flujos en \pm \$ US 1'000,000 y del VAN de la planta B

La Figura 6.23 muestra las curvas de Sensibilidad de los flujos con variación de \pm \$ US 1'000,000 de la planta B.

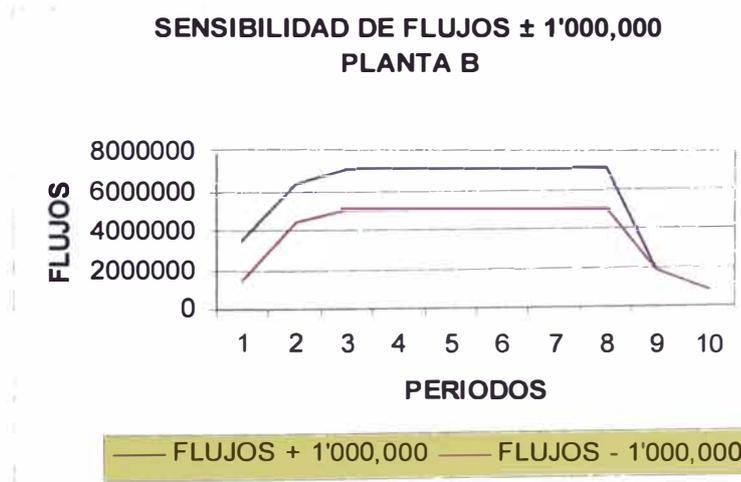


Figura 6.23 Curvas de sensibilidad de los flujos con variación de \pm \$ US 1'000,000 de la planta B

La Tabla 6.35 presenta la variación de los flujos en \pm \$ US 1'000,000 y del VAN de la planta C.

PLANTA C	
VARIACIÓN DE LOS FLUJOS NETOS TOTALES ANUALES	VAN
-1'000,000.00	23'374,203.42
+1'000,000.00	32'651,931.21
VARIACIÓN DEL VAN: 139.69%	

Tabla 6.35 Variación de los flujos en ± \$ US 1'000,000 y del VAN de la planta C

La Figura 6.24 muestra las curvas de sensibilidad de los flujos con variación de ± \$ US 1'000,000 de la planta C

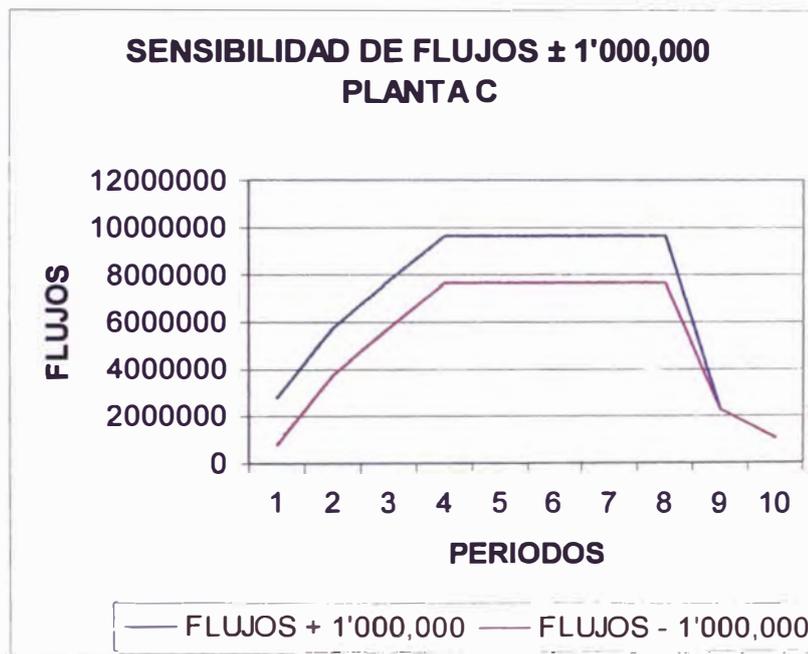


Figura 6.24 Curvas de sensibilidad de los flujos con Variación de ± \$ US 1'000,000 de la planta C

La Tabla 6.36 presenta la variación de los flujos en ± \$ US 2'000,000 y del VAN de la planta A.

PLANTA A	
VARIACIÓN DE LOS FLUJOS NETOS TOTALES ANUALES	VAN
-2'000,000.00	7'055,696.82
+2'000,000.00	25'611,152.39
VARIACIÓN DEL VAN: 362.99%	

Tabla 6.36 Variación de los flujos en ± \$ US 2'000,000 y del VAN de la planta A

La Figura 6.25 muestra las curvas de sensibilidad de los flujos con variación de ± \$ US 2'000,000 de la planta A.

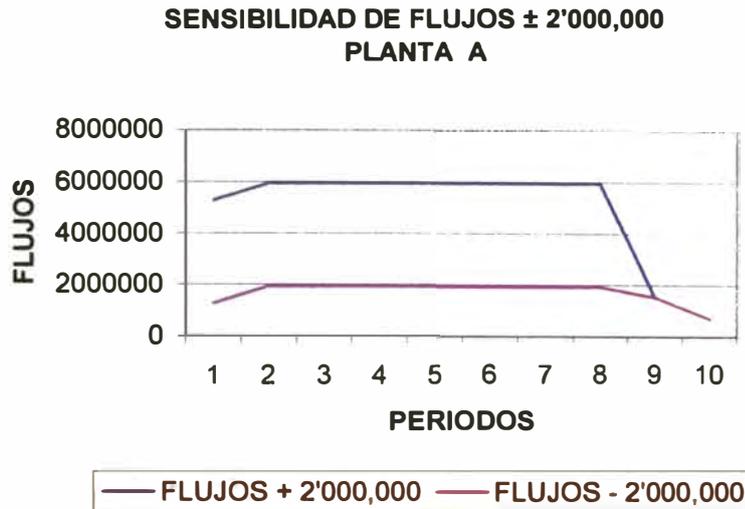


Figura 6.25 Curvas de sensibilidad de los flujos con variación de ± \$ US 2'000,000 de la planta A

La Tabla 6.37 presenta la variación de los flujos en ± \$ US 2'000,000 y del VAN de la planta B.

PLANTA B	
VARIACIÓN DE LOS FLUJOS NETOS TOTALES ANUALES	VAN
-2'000,000.00	13'558,529.05
+2'000,000.00	32'113,984.63
VARIACIÓN DEL VAN: 236.85%	

Tabla 6.37 Variación de los flujos en ± \$ US 2'000,000 y del VAN de la planta B

La Figura 6.26 muestra las curvas de sensibilidad de los flujos con variación de ± \$ US 2'000,000 de la planta B

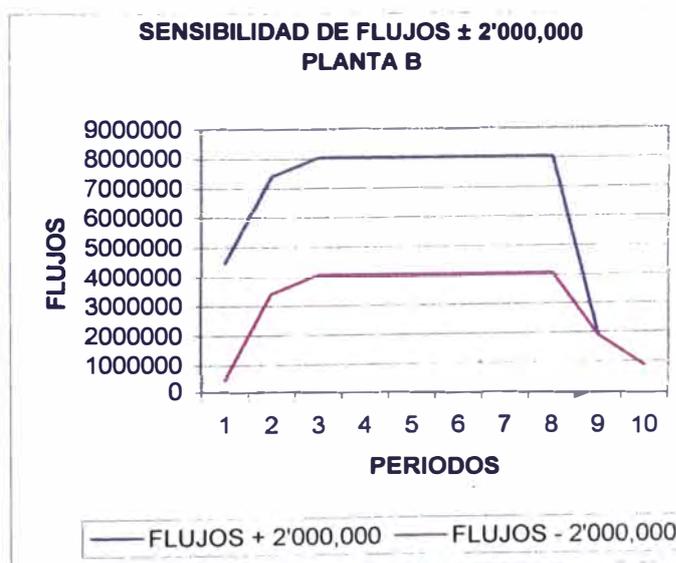


Figura 6.26 Curvas de sensibilidad de los flujos con variación de ± \$ US 2'000,000 de la planta B

La Tabla 6.38 presenta la variación de los flujos en \pm \$ US 2'000,000 y del VAN de la planta C.

PLANTA C	
VARIACIÓN DE LOS FLUJOS NETOS TOTALES ANUALES	VAN
-2'000,000.00	18'735,339.53
+2'000,000.00	37'290,795.10
VARIACIÓN DEL VAN: 199.04%	

Tabla 6.38 Variación de los flujos en \pm \$ US 2'000,000 y del VAN de la planta C

La Figura 6.27 muestra las curvas de Sensibilidad de los Flujos con variación de \pm \$ US 2'000,000 de la Planta C.

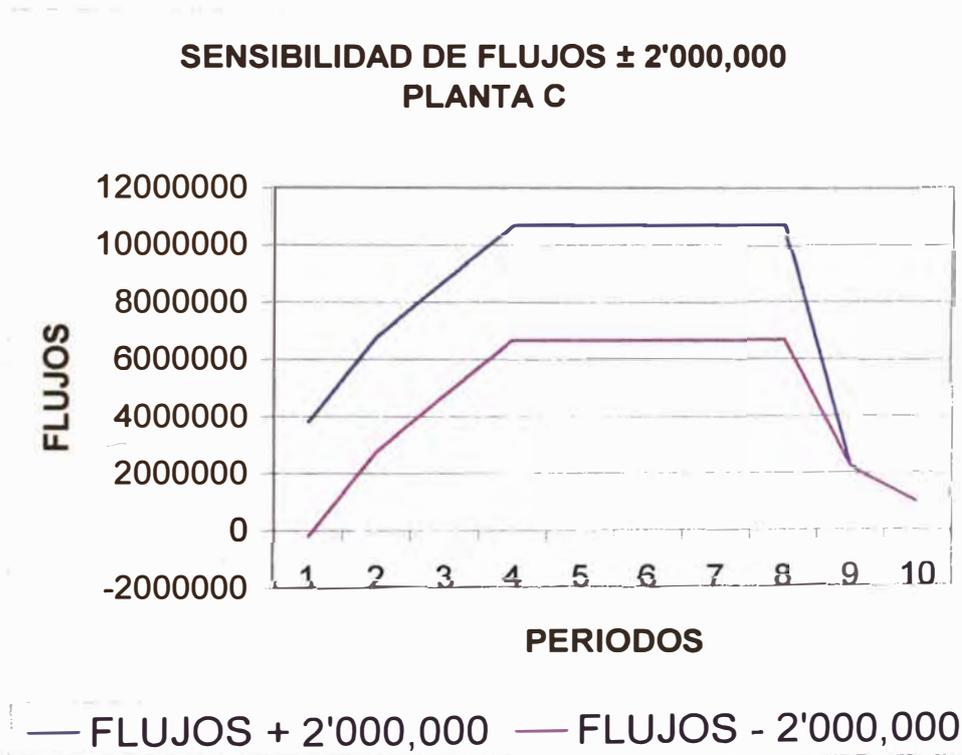


Figura 6.27 Curvas de sensibilidad de los flujos con variación de \pm \$ US 2'000,000 de la planta C

Seguidamente se procede a calcular el promedio de variación del VAN el cual se lo obtiene a partir de la variación de los Flujos Netos Totales Anuales cada tamaño de Planta como lo presenta la Tabla 6.39.

PLANTA A	PLANTA B	PLANTA C
VARIACIÓN PROMEDIO DEL VAN: 271.16%	VARIACIÓN PROMEDIO DEL VAN: 193.92%	VARIACIÓN PROMEDIO DEL VAN: 169.37%

Tabla 6.39 Variación promedio del VAN de los tres tamaños de plantas de asfalto

Según los resultados obtenidos, la Planta de Asfalto C Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 400 con capacidad de 640,816 tn/año presenta la menor variación del promedio del VAN.

La Figura 6.28 muestra la Sensibilidad de las Curvas de los Flujos de las Plantas A, B y C de los Flujos Anuales Totales frente a las variaciones para los tres tamaños de plantas.

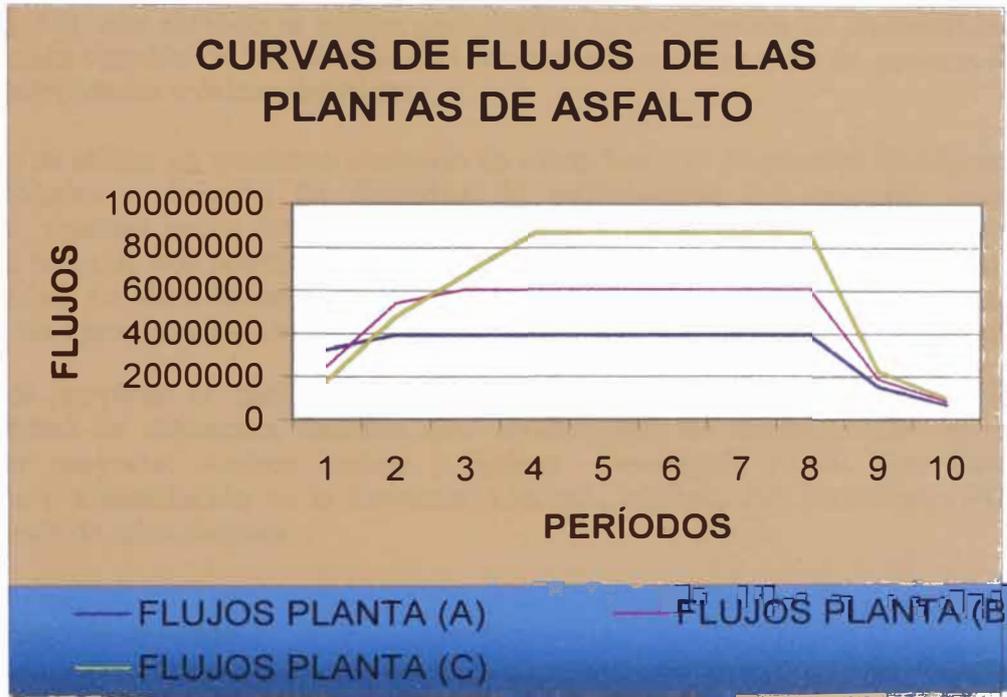


Figura 6.28 Sensibilidad de las Curvas de los Flujos de las Plantas A, B y C

Los análisis realizados nos ofrecen valores distintos tanto para el VAN, TIR, B/C, FAE y Sensibilidad por tanto podemos asumir un valor intermedio y decidir por adquirir una planta con valores medios como los presenta la Planta de Asfalto C Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 400 con capacidad de 640,816 tn/año de la Foto 6.29.



Foto 6.29 Planta de Asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 400

6.21 Modelo de Simulación de Monte Carlo

El modelo de Monte Carlo se puede definir como un método de ensayos estadísticos por ser una técnica de simulación de situaciones inciertas que permite definir valores esperados para variables no conocidas. Lo que permiten definir estos valores es una selección aleatoria, "donde la probabilidad de elegir entre todos los resultados posibles está en estricta relación con sus respectivas distribuciones de probabilidades" (Sapag Chain, N y Sapag Chain R, Preparación y Evaluación de Proyectos, 3a.ed, Santafé de Bogotá). Así, este método se utiliza para derivar la distribución de probabilidad de una determinada variable de interés que está relacionada con una serie de sucesos o eventos con probabilidades teóricas definidas.

Para ello se utiliza un muestreo aleatorio de identificación de eventos. Existe una ley de probabilidades o función de densidad de probabilidad del universo teórico. Sin embargo, muchas veces ésta no está disponible y habrá que obtener una muestra del universo real que nos permita inferir la ley de probabilidad o aproximamos a la función de densidad. La simulación de Monte Carlo nos ayuda en este sentido, ya que permite mejorar las aproximaciones que se realizan sobre las probabilidades del universo real.

Se puede emplear el modelo de Monte Carlo para estimar las distribuciones de probabilidad de diferentes factores que condicionan las decisiones de inversión en cualquier proyecto. Andrés Suárez y Suárez Decisiones en su libro Óptimas de Inversión y Financiación en la Empresa, 15a. ed., Madrid: Ed. Pirámide, 1993 realiza una síntesis de tales factores:

- Tamaño de mercado.
- Precios.
- Tasa de crecimiento del mercado.
- Participación de mercado.
- Inversión requerida.
- Valor residual o de recuperación de la inversión.
- Costos variables o de operación.
- Costos fijos.
- Vida útil de los equipos.

Cabe mencionar que la simulación por el método de Monte Carlo permite considerar todas las combinaciones posibles de variantes en las distintas variables que presente el proyecto. Es decir, no sólo se realiza el análisis para un factor cambiante, sino que éste puede ser multidimensional.

Específicamente, el método de Monte Carlo consiste en generar números aleatorios basados en una ley de probabilidad teórica y convertirlos luego en observaciones de las variables del proyecto, para llegar a determinar una distribución de probabilidad que se aproxime más a la real. De esto se deduce que se pueden realizar varias simulaciones de Monte Carlo, con la finalidad de llegar a una mejor aproximación.

Pero el número de simulaciones que se debe hacer depende de las variaciones en la respuesta que nos da este método. Cuando la repuesta generada se haya vuelto estable, significa que ya no se deben realizar más simulaciones porque los resultados de próximas simulaciones serán similares a los resultados que ya se tienen.

La Figura 6.30 muestra lo explicado, en la cual se observa que se produce un rango permisible de error cuando los resultados son estables.

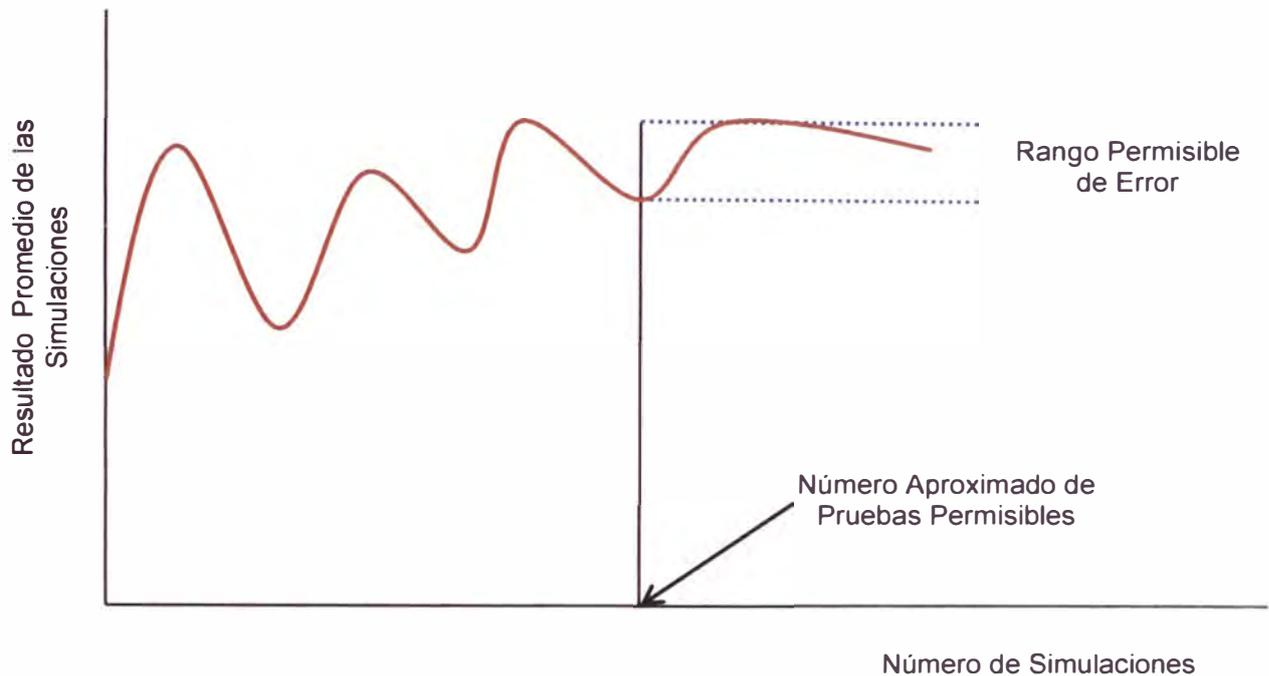


Figura 6.30 Gráfica del modelo de simulación de Monte Carlo

Para nuestro caso se aplicará la simulación de Monte Carlo para la Planta de Asfalto B Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 300 con capacidad de 493,680 tn/año, la cual ha sido elegida desde el punto de vista técnico en el Capítulo IV y los Análisis de Costos en el Capítulo V de la presente Tesis. La Tabla 6.40 presenta la información obtenida para la indicada Planta:

Precio de Venta por Tonelada de Mezcla Asfáltica	\$ US 37.87
Cantidad Producida y Vendida en el Primer Año de Operación	328,050 tn
Costo Variable	63.28 % = \$ US 23.96

Tabla 6.40 Información básica referida a la planta de asfalto B Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC modelo PDB 300 con capacidad de 493,680 tn/año

Se asume que el precio de venta y el costo variable sufrirán un incremento del 8% a partir del valor referido al primer año y la cantidad producida y vendida se incrementará en 10%. Asimismo no se tiene certeza sobre el precio de venta, las cantidades producidas y vendidas tampoco sobre los costos variables del primer año, pero si se dispone de las distribuciones de las probabilidades. En tal sentido la simulación de Monte Carlo se aplicará a estas tres variables:

- Precio de venta.
- Cantidades producidas y vendidas.
- Costos variables.

La Tabla 6.41 presenta del precio de venta por tonelada de mezcla asfáltica con la posibilidad de incremento del 8% para el primer año de operación con sus respectivas probabilidades.

PRECIO DE VENTA	PROBABILIDAD
37.87	0.35
40.90	0.15
44.17	0.20
47.71	0.15
51.52	0.15

Tabla 6.41 Variación del precio de venta y probabilidad de la planta B

La Tabla 6.42 presenta las cantidades producidas y vendidas de mezcla asfáltica con la posibilidad de incremento del 10% para el primer año de operación con sus respectivas probabilidades.

CANTIDADES PRODUCIDAS Y VENDIDAS	PROBABILIDAD
328,050	0.45
360,855	0.10
396,940.5	0.25
436,634.55	0.15
480,298.01	0.05

Tabla 6.42 Variación del precio de venta y probabilidad de la planta B

La Tabla 6.43 presenta el costo variable del 63.28 % respecto al precio de venta por tonelada de mezcla asfáltica con la posibilidad de incremento del 8% para el primer año de operación con sus respectivas probabilidades.

COSTO VARIABLE	PROBABILIDAD
15.01	0.15
16.22	0.25
17.52	0.05
18.92	0.35
20.43	0.20

Tabla 6.43 Variación del precio de venta y probabilidad de la planta B

Seguidamente se debe encontrar la probabilidad acumulada a las cuales se les asignará rangos de números representativos entre 0 y 99. La asignación de éstos se hace en relación a la distribución acumulada.

La Tabla 6.44 presenta las probabilidades acumuladas y la asignación de los números representativos del precio de venta por tonelada de mezcla asfáltica.

PRECIO DE VENTA	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES	PROBABILIDAD ACUMULADA	ASIGNACIÓN DE NÚMEROS REPRESENTATIVOS
37.87	0.35	0.35	0-34
40.90	0.15	0.50	35-49
44.17	0.20	0.70	50-69
47.71	0.15	0.85	70-84
51.52	0.15	1.00	85-99

Tabla 6.44 Probabilidades acumuladas y asignación de los números representativos del precio de venta

La Tabla 6.45 presenta las probabilidades acumuladas y la asignación de los números representativos de las cantidades producidas y vendidas.

CANTIDADES PRODUCIDAS Y VENDIDAS	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES	PROBABILIDAD ACUMULADA	ASIGNACIÓN DE NÚMEROS REPRESENTATIVOS
328,050	0.45	0.45	0-44
360,855	0.10	0.55	45-54
396,940.5	0.25	0.80	55-79
436,634.55	0.15	0.95	80-94
480,298.01	0.05	1.00	94-99

Tabla 6.45 Probabilidades acumuladas y asignación de los números representativos de las cantidades producidas y vendidas

La Tabla 6.46 presenta las probabilidades acumuladas y la asignación de los números representativos del costo variable.

COSTO VARIABLE	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES	PROBABILIDAD ACUMULADA	ASIGNACIÓN DE NÚMEROS REPRESENTATIVOS
15.01	0.15	0.15	0-14
16.22	0.25	0.40	15-39
17.52	0.05	0.45	40-44
18.92	0.35	0.80	45-79
20.43	0.20	1.00	80-99

Tabla 6.46 Probabilidades acumuladas y asignación de los números representativos del costo variable

A continuación se trabaja con tablas de números aleatorios Tabla 6.47, se puede utilizar la tabla en cualquier dirección pero siguiendo un patrón uniforme del primer número de la primera columna hacia abajo.

TABLA DE NÚMEROS ALEATORIOS

14	36	24	37	22	31	35	31	6	10
15	60	18	37	70	79	21	19	36	46
26	87	20	76	32	46	32	99	43	24
48	18	7	46	16	89	54	66	26	6
10	81	43	74	27	78	79	46	63	86
10	5	74	3	45	24	2	56	85	73
83	55	27	28	81	26	5	97	67	39
41	69	52	48	51	67	35	6	28	65
68	71	11	69	22	42	31	39	11	1
19	26	1	16	27	26	59	26	81	47
95	94	14	11	25	60	43	11	54	10
51	47	40	13	93	77	80	88	75	3
63	60	30	11	42	17	9	51	56	83
89	92	85	0	39	41	92	38	51	82
81	19	88	80	91	39	50	53	64	36
47	14	21	17	95	61	64	85	86	58
53	61	99	2	63	55	36	13	87	46
44	81	20	96	20	28	72	8	95	83
12	98	27	42	4	83	6	78	1	9
27	32	75	15	64	3	99	77	83	4
19	92	26	37	90	70	40	32	57	58
28	62	49	62	31	62	14	92	22	4
99	7	7	49	91	69	33	86	4	1
17	46	23	45	27	57	61	29	96	60
15	1	89	66	21	90	78	65	58	12
37	28	16	48	89	72	29	7	84	99
73	22	57	93	20	42	99	97	83	73
83	77	9	8	54	72	64	66	8	57
37	32	97	73	60	11	58	43	34	25
73	77	41	40	96	78	98	94	72	42

Fuente: Evaluación Privada de Proyectos: Arlette Beltrán y Hanny Cueva

Tabla 6.47 Tabla de números aleatorios

Resulta indispensable determinar la variable que será simulada, la cual deberá ser función de las variables cuyas distribuciones de probabilidades han sido previamente identificadas. Para nuestro caso hemos identificado el Precio de Venta (PV), las Cantidades Producidas y Vendidas (Q) y el Costo Variable (CV). Por lo tanto se ha determinado la variable de Ingresos Netos (IN), la cual es función de las tres variables anteriores que se puede expresar de la siguiente forma:

$$IN = Qx[PV - CV]$$

Finalmente se debe crear los valores que darán una distribución de probabilidad para la variable que será simulada, mientras más valores se creen, la distribución será más parecida a la real, Se usarán 100 observaciones para obtener resultados más precisos según como lo presenta la Tabla 6.48.

N° DE EXPERIMENTO	PRECIO DE VENTA		CANTIDADES PRODUCIDAS Y VENDIDAS		COSTO VARIABLE		INGRESOS NETOS
	N° ALEATORIO	VALOR	N° ALEATORIO	VALOR	N° ALEATORIO	VALOR	
1	14	37.87	15	328050	26	16.22	7102282.5
2	48	40.90	10	328050	10	15.01	8493214.5
3	83	47.71	41	328050	68	18.92	9444559.5
4	19	37.87	95	480298.01	51	18.92	9101647.29
5	63	44.17	89	436634.55	81	20.43	10365704.2
6	47	40.9	53	360855	44	17.52	8436789.9
7	12	37.87	27	328050	19	16.22	7102282.5
8	28	37.87	99	480298.01	17	16.22	10398451.9
9	15	37.87	37	328050	73	18.92	6216547.5
10	83	47.71	37	328050	73	18.92	9444559.5
11	36	40.90	60	396940.50	87	20.43	8125372.04
12	18	37.87	81	436634.55	5	15.01	9981465.81
13	55	44.17	69	396940.50	71	18.92	10022747.6
14	26	37.87	94	480298.01	47	17.52	9774064.5
15	60	44.17	92	436634.55	19	16.22	12203935.7
16	14	37.87	61	396940.50	81	20.43	6922642.32
17	98	51.52	32	328050	92	20.43	10199074.5
18	62	44.17	7	328050	46	18.92	8283262.5
19	1	37.87	28	328050	22	16.22	7102282.5
20	77	47.71	32	328050	77	18.92	9444559.5
21	24	37.87	18	328050	20	16.22	7102282.5
22	7	37.87	43	328050	74	18.92	6216547.5
23	27	37.87	52	360855	11	15.01	8249145.3
24	1	37.87	14	328050	40	17.52	6675817.5
25	30	37.87	85	436634.55	88	20.43	7614906.55
26	21	37.87	99	480298.01	20	16.22	10398451.9
27	27	37.87	75	396940.50	26	16.22	8593761.83
28	49	40.90	7	360855	23	16.22	8905901.4
29	89	51.52	16	360855	57	18.92	11763873
30	9	37.87	97	480298.01	41	17.52	9774064.5
31	37	40.90	37	328050	76	18.92	7210539
32	46	40.90	74	396940.50	3	15.01	10276789.5
33	28	37.87	48	360855	69	18.92	6838202.25
34	16	37.87	11	328050	13	15.01	7499223
35	11	37.87	0	328050	80	20.43	5721192
36	17	37.87	2	328050	96	20.43	5721192
37	42	40.90	15	328050	37	16.22	8096274
38	62	44.17	49	360855	45	17.52	9616785.75
39	66	44.17	48	360855	93	20.43	8566697.7
40	8	37.87	73	396940.50	40	17.52	8077739.18
41	22	37.87	70	396940.50	32	16.22	8593761.83
42	16	37.87	27	328050	45	17.52	6675817.5
43	81	47.71	51	360855	22	16.22	11363324
44	27	37.87	25	328050	93	20.43	5721192
45	42	40.90	39	328050	91	20.43	6715183.5
46	96	51.52	63	396940.50	20	16.22	14011999.7
47	4	37.87	64	396940.50	90	20.43	6922642.32
48	31	37.87	91	436634.55	27	16.22	9453138.01
49	21	37.87	89	436634.55	20	16.22	9453138.01
50	54	44.17	60	396940.50	96	20.43	9423367.47

continúa....

N° EXPERIMENTO	PRECIO DE VENTA		CANTIDADES PRODUCIDAS Y VENDIDAS		COSTO VARIABLE		INGRESOS NETOS
	N° ALEATORIO	VALOR	N° ALEATORIO	VALOR	N° ALEATORIO	VALOR	
51	31	37.87	79	396940.50	46	18.92	7522022.48
52	89	51.52	78	396940.50	24	16.22	14011999.7
53	26	37.87	67	396940.50	42	17.52	8077739.18
54	26	37.87	60	396940.50	77	18.92	7522022.48
55	17	37.87	41	328050	39	16.22	7102282.5
56	61	44.17	55	396940.50	28	16.22	11094487
57	83	47.71	3	328050	70	18.92	9444559.5
58	62	44.17	69	396940.50	57	18.92	10022747.6
59	90	51.52	72	396940.50	42	17.52	13495977
60	72	47.71	11	328050	78	18.92	9444559.5
61	35	40.90	21	328050	32	16.22	8096274
62	54	44.17	79	396940.50	2	15.01	11574785
63	5	37.87	35	328050	31	16.22	7102282.5
64	59	44.17	43	328050	80	20.43	7787907
65	9	37.87	92	436634.55	50	18.92	8274224.72
66	64	44.17	36	328050	72	18.92	8283262.5
67	6	37.87	99	480298.01	40	17.52	9774064.5
68	14	37.87	33	328050	61	18.92	6216547.5
69	78	47.71	29	328050	99	20.43	8949204
70	64	44.17	58	396940.50	98	20.43	9423367.47
71	31	37.87	19	328050	99	20.43	5721192
72	66	44.17	46	360855	56	18.92	9111588.75
73	97	51.52	6	328050	39	16.22	11580165
74	26	37.87	11	328050	88	20.43	5721192
75	51	44.17	38	328050	53	18.92	8283262.5
76	85	51.52	13	328050	8	15.01	11977105.5
77	78	47.71	77	396940.50	32	16.22	12499656.3
78	92	51.52	86	436634.55	29	16.22	15413199.6
79	65	44.17	7	328050	97	20.43	7787907
80	66	44.17	43	328050	94	20.43	7787907
81	6	37.87	36	328050	43	17.52	6675817.5
82	26	37.87	63	396940.50	85	20.43	6922642.32
83	67	44.17	28	328050	11	15.01	9565938
84	81	47.71	54	360855	75	18.92	10389015.5
85	56	44.17	51	360855	64	18.92	9111588.75
86	86	51.52	87	436634.55	95	20.43	13574968.2
87	1	37.87	83	436634.55	57	18.92	8274224.72
88	22	37.87	4	328050	96	20.43	5721192
89	58	44.17	84	436634.55	83	20.43	10365704.2
90	8	37.87	34	328050	72	18.92	6216547.5
91	10	37.87	46	360855	24	16.22	7812510.75
92	6	37.87	86	436634.55	73	18.92	8274224.72
93	39	40.90	65	396940.50	1	15.01	10276789.5
94	47	40.90	10	328050	3	15.01	8493214.5
95	83	47.71	82	436634.55	36	16.22	13749622
96	58	44.17	46	360855	83	20.43	8566697.7
97	9	37.87	4	328050	58	18.92	6216547.5
98	4	37.87	1	328050	60	18.92	6216547.5
99	12	37.87	99	480298.01	73	18.92	9101647.29
100	57	44.17	25	328050	42	17.52	8742532.5

Tabla 6.48 Distribución de probabilidades de los ingresos netos

La Figura 6.31 muestra la simulación de Monte Carlo para los 100 experimentos de los Ingresos Netos correspondiente a la Planta B.

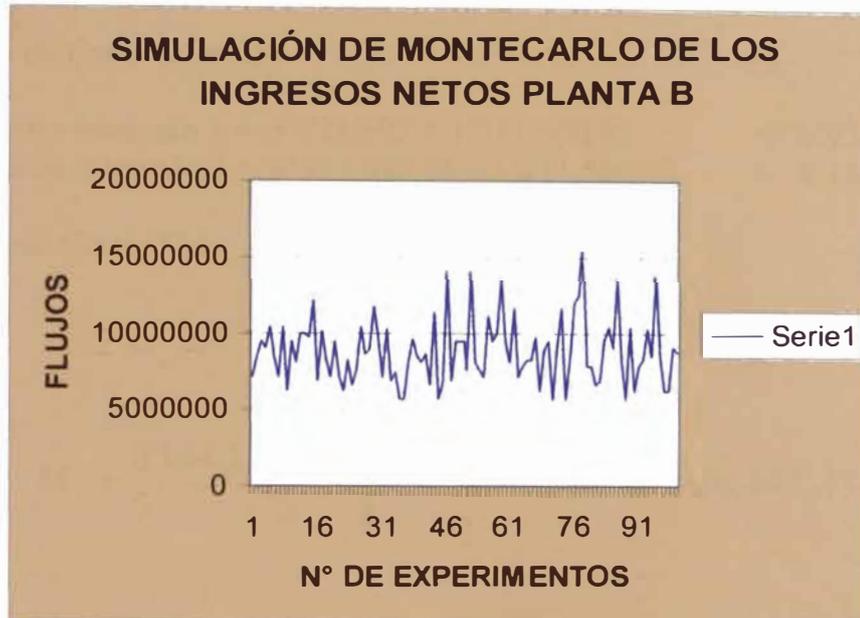


Figura 6.31 Simulación de Monte Carlo de los ingresos netos de la planta B

Es importante procesar la información obtenida para conocer valores estadísticos básicos como: Promedio, Desviación Estándar, Media Armónica, Varianza.

En tal sentido es necesario llevar a cabo los siguientes pasos:

- a) Cálculo del Rango

$$\text{Rango} = \text{observación máxima} - \text{observación mínima}$$

$$\text{Rango} = 15'413,199.60 - 5'721,192.00$$

$$\text{Rango} = 9'692,007.60$$

- b) Cálculo del Número Óptimo de Intervalos de Clase (K)

$$K = 1 + 3.3 \log n$$

$$K = 1 + 3.3 \log 100 = 7.6 \approx 8 \text{ Intervalos}$$

- c) Amplitud de Cada Intervalo:

$$A = \frac{\text{Rango}}{\text{N}^\circ \text{ de intervalos}}$$

$$A = \frac{9'692,007.60}{8} = 1'211,500.95$$

d) Valores de Cada Intervalo

$$\begin{aligned} \text{Extremo inferior intervalo 1} &= 5'721,192 + 1'211,500.95 &= 6'932,692.95 \\ \text{Extremo inferior intervalo 2} &= 6'932,692.95 + 1'211,500.95 &= 8'144,193.90 \end{aligned}$$

e) Marcas de Clase (M_i)

$$M_i = \frac{\text{extremo superior} + \text{extremo inferior}}{2}$$

$$M_i = \frac{8'144,193.90 + 6'932,692.95}{2} = 7'538,443.43$$

Con los datos obtenidos se puede elaborar el cuadro de frecuencias como lo muestra la Tabla 6.49.

LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	MARCA DE CLASE	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA RELATIVA ACUM	PROBABILIDAD
5721192	6932693	6326942.48	20	0.20	0.20
6932694	8144195	7538444.48	20	0.40	0.20
8144196	9355697	8749946.48	20	0.60	0.20
9355698	10567199	9961448.48	23	0.83	0.23
10567200	11778701	11172950.5	7	0.90	0.07
11778702	12990203	12384452.5	4	0.94	0.04
12990204	14201705	13595954.5	5	0.99	0.05
14201706	15413207	14807456.5	1	1.00	0.01

Tabla 6.49 Cuadro de frecuencias y probabilidades

La Tabla 6.50 presenta los indicadores estadísticos relacionados con: el promedio, de la desviación estándar y la media armónica.

PROMEDIO	8'827,898.61
DESVIACIÓN ESTANDAR	2'095,235.04
MEDIA ARMÓNICA	8'380,406.02

Tabla 6.50 Parámetros estadísticos obtenidos de la simulación de Monte Carlo



CAPÍTULO

VII

EVALUACIÓN AMBIENTAL

Cuando me inicié, el Estado del Arte era la planta dosificadora o batch plant la cual era sucia usualmente se podía ver desde unas tres millas. Hoy hemos progresado para limpiarlas mediante equipos húmedos y colectores de polvo que las hacen invisibles. Todavía necesitamos fabricar una planta que no se pueda ver, no se pueda oír y no se pueda oler.

PhD., P.E J. DON BROCK

CAPÍTULO VII

EVALUACIÓN AMBIENTAL

7.1 La evaluación de impacto ambiental

Esta calificación es otorgada al examen y análisis ambiental que se puede aplicar a proyectos o programas de desarrollo como lo son la instalación de las plantas de asfalto en caliente que poseen impactos diversos o significativos sobre los ecosistemas. El proceso enfatiza en la identificación oportuna de problemas ambientales en las diferentes fases de los proyectos, y propone alternativas de solución con el objeto de evitar, atenuar o compensar los impactos generados por el posible desarrollo del proyecto. De igual forma la evaluación ambiental puede ser adaptada a escala regional o sectorial y empleada para evaluar los impactos de programas sectoriales, proyectos múltiples y para la elaboración de políticas y planes.

Otra apreciación o definición sobre las E.I.A. (Evaluaciones de Impacto Ambiental) es la propuesta por (Munn, 1,979), la cual expresa que: “Los E.I.A. pueden ser descritos como un proceso para identificar las probables consecuencias para el ambiente biogeofísico, para la salud y el bienestar del hombre por la implementación de actividades particulares, transmitiendo esta información a los responsables de autorizar la propuesta”; (Gómez Orea 1,988) define la E.I.A. “como un procedimiento de análisis, más o menos largo y complejo, encaminado a formar un juicio previo, lo más objetivo posible sobre la importancia de los impactos ambientales de una acción humana prevista y la posibilidad de evitarlos o reducirlos a niveles aceptables”. (Bisset, 1,982) lo define como “mecanismos estructurados para coleccionar, analizar, comparar y organizar informaciones o datos sobre impactos ambientales de una propuesta”, Horberry (Horberry, 1,984) concibe la evaluación de impacto ambiental como una secuencia de pasos para coleccionar y analizar los efectos de una acción sobre una cualidad ambiental y la productividad del sistema natural, evaluando sus impactos sobre los receptores naturales, socioeconómicos y humanos. Para (Moreira, 1,990) la Evaluación de Impacto Ambiental es un instrumento de política ambiental, formada por un conjunto de procedimientos capaces de asegurar desde el inicio del proceso, que se haga un examen sistemático de los impactos ambientales de una acción propuesta (proyecto, programa o plan) y de sus alternativas, donde los resultados serán presentados de forma adecuada al público y a los responsables, para la toma de decisiones, garantizando la adopción de medidas de protección del medio ambiente.

Para otros autores la Evaluaciones de Impacto Ambiental pueden ser vistas como parte de una relación Causa-Efecto. Desde el punto de vista analítico, pueden ser considerada como la diferencia entre las condiciones ambientales presentes en un área específica antes de la construcción de un proyecto y las condiciones ambientales que se tendrían después de la construcción, y desde la visión social, podría ser entendida como el proceso mediante el cual se evalúa las condiciones de vida de una comunidad integrada a su entorno, en la cual una actividad de desarrollo (proyecto, programa o plan) pueda

afectar o favorecer el bienestar común, teniendo como antecedente las condiciones prevalecientes antes de la ejecución de la acción.

La evaluación ambiental es un herramienta de planificación utilizada para proyectos y programas en más de 106 países (Triana, 1,995), donde en principio, el análisis era el apropiado para operaciones de inversión de la Banca Multilateral pero que ha sido incorporado paulatinamente en los procesos de Administración Ambiental de todos los países en desarrollo, ofreciendo un mecanismo formal para la coordinación interinstitucional y para tratar las inquietudes de los grupos afectados. Un resumen de las tendencias que han prevalecido en la evaluación ambiental de proyectos y de la industria del asfalto con referencia a la incorporación de concepciones para su ejecución se presenta en la Tabla 7.1.

PERÍODO	CONCEPCIONES PREVALECIENTES
Antes de 1,960	No había interés por la problemática ambiental, no era prioridad.
1,960 – 1,970	Se percibieron los problemas de la industrialización, contaminación y déficit de combustibles, dominan las concepciones economicistas, rentabilidad económica y financiera, relación costo/beneficio en los proyectos.
1,970 – 1,975	Se instituyen las E.I.A. por primera vez, concepciones de trabajo sectorial, los estudios se enfocan a la predicción de cambios ecológicos y del uso de la tierra. La industria de la mezcla de asfalto en caliente enfrentó los códigos que regulan las emisiones de partículas. Los requisitos iniciales de 1.41 granos/metro cúbico y opacidad máxima de 20%, fueron muy difíciles de satisfacer en esos años.
1,975 – 1,980	Se incluyen las concepciones interdisciplinarias en las E.I.A., los análisis de costo social de los proyectos, y se integra a la comunidad mediante su participación en el proceso integral de planificación del proyecto. Se incluyen análisis de riesgo. En el caso de las Plantas de Asfalto en Caliente, el tratamiento de los polvos y particulados fueron por vía húmeda. Se desarrollan los ciclones.
1,980 – 1,990	Se consolida jurídicamente las E.I.A. e integran la administración ambiental, la política y la planificación. Los procesos de seguimiento o de monitoreo son incorporados, y se ve la importancia de las E.I.A. para consolidar bases de datos ambientales. En el caso de las Plantas de Asfalto en Caliente, el tratamiento de los polvos y particulados fueron por vía seca. Se desarrollan los baghouses o filtros de mangas.
1,990 – 1,995	Se inician los desarrollos metodológicos que le dan a las E.I.A. un mayor rigor científico en sus evaluaciones, se formulan hipótesis de impacto para la evaluación. Se inician los pasos para implantar los sistemas de auditoría y certificación ambiental ISO. Con la Enmienda a la Ley del Aire Limpio la Agencia de Protección Ambiental cambió su enfoque de la regulación de las emisiones a la regulación de la calidad del aire ambiental. Las cámaras de filtros fueron la respuesta más efectiva de la industria
1,995 – 2,000	Implantación tanto en países desarrollados como en desarrollo de las E.A.E. (Evaluaciones Ambientales Estratégicas) como alternativa de planificación para políticas, programas y planes a nivel estatal.
2,000- 2,006	Actualmente las cámaras de filtros son capaces de un rendimiento mucho mejor que el requisito estándar de (1.41 granos/metro cúbico) cumplen con estos requisitos sin ninguna modificación especial.

Tabla 7.1 Las evaluaciones de impacto ambiental y su desarrollo

Cuando los procesos de evaluación ambiental se iniciaron, estos estudios sólo tenían en cuenta como un complemento de los estudios de factibilidad económica de los proyectos propuestos y de esta forma la variante ambiental sólo se consideraba como un proceso adyacente en los análisis económicos de los proyectos, pero esta circunstancia acarreó serios problemas, ante los daños ambientales producidos por actividades tales como la construcción de infraestructura para la producción y el desarrollo, la expansión industrial y en general con los avances tecnológicos que comprometían de una forma u otra recursos del medio natural que representaban un interés social para las comunidades, ante la dificultad de valorar los procesos adyacentes generados, los estudios se orientaron a la caracterización de mecanismos para incorporar aspectos, cuantitativos y de calidad, dentro del proceso de planificación y toma de decisiones.

La evaluación ambiental tiene una relación de tiempo y costo que es trascendente en los procesos de planificación de actividades para los programas a escala regional, sectorial, o para proyectos específicos, en principio las evaluaciones ambientales requieren tanto tiempo como los estudios de factibilidad, del cual la evaluación ambiental es esencialmente una parte, por lo que el tiempo puede estimarse entre 6 a 18 meses y el costo rara vez excede el 1% de la inversión total del proyecto (BIRF, 1,991). El costo de preparar una E.I.A. a nivel estatal o federal en Estados Unidos promedia también el 1% o menos y el rango de variación con relación al costo del proyecto propuesto es de 0.1% a 5.4% (Council on Environmental Quality, 1976 y Zigman, 1,978).

Históricamente, las E.I.A se inician en E.U.A bajo un requerimiento de la National Environmental Policy (NEPA) desde 1,969. Los métodos más usados por la Agencias Federales de los E.U.A según Caldwell 1,982 son en orden de utilización los que se muestran en la Tabla 7.2.

NOMBRE DEL MÉTODO	ABREVIATURA
HABITAT EVALUATION PROCEDURE	
MCHARG OVERLAY METHOD	
LEOPOLD MATRIX	
SORENSEN NETWORK ANALYSIS	
WETLAND EVALUATION SYSTEM	WES
WATER RESOURCES ASSESSMENT METHODOLOGY	WRAM
GOAL ACHIEVEMENT MATRIX	
DECISION ANALYSIS	
ENVIRONMENTAL QUALITY ASSESSMENT	EQA
ENVIRONMENTAL EVALUATION SYSTEM	EES
ENVIRONMENTAL QUALITY EVALUATION PROCEDURE	EOEP
ADAPTIVE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AND MANAGEMENT	AEAM
METROPOLITAN LANDSCAPE PLANNING MODEL	METLAND
SURROGATE WORTH TRADEOFF METHOD	
KANE SIMULATION MODEL	KSIM

Tabla 7.2 Métodos de evaluación ambiental más usados en los E.U.A.

Dos de los aspectos más criticados en las E.I.A. son los costos y las demoras que pueden causar. Inicialmente esto pudo haber sido cierto sobre todo en áreas donde se conocía poco sobre las condiciones ambientales y sociales existentes. Los cambios en el diseño producidos como resultado de los hallazgos de una E.I.A. aunque pueden resultar en un aumento en los costos de capital, pueden producir ahorros en las economías locales, regionales y nacionales como resultado de evitar los impactos deletéreos y maximizar los beneficios sobrepasando en el largo plazo los costos de la E.I.A.

Un ejemplo que puede servir muy bien a los administradores de proyectos para entender la importancia de invertir en Evaluaciones de Impacto Ambiental radica no sólo en la disminución de costos ambientales sino que algunas veces ellos mismos han producido ahorros tan altos. Otra ventaja de los proyectos mejorados por una E.I.A. sea esto bien en el diseño o en la localización resulta de eliminar costosas acciones de mitigación tales como introducción de equipo de control de la contaminación o el pago de compensaciones (Clark, 1,984). Como herramienta para la planificación la evaluación ambiental es flexible, puede variar en amplitud, profundidad y tipo de análisis de acuerdo con las características del proyecto, abarcar un año para incluir las variaciones estacionales, o hacerse en diferentes períodos.

En los países en desarrollo, la información ambiental generada por las evaluaciones ambientales cuando son desarrolladas con minuciosidad, tienen un valor importante desde el campo científico, puesto que son una fuente continua de información sobre los ecosistemas y ayudan a elaborar o mantener actualizados inventarios de Fauna, Flora, y a identificar posibles especies vegetales o animales en peligro, fortaleciendo la capacidad ambiental y de información de estos países.

Las evaluaciones ambientales son generalmente utilizadas para análisis ambientales de proyectos específicos de inversión y busca detectar los problemas significativos que comprometan ambientalmente las características del área de construcción y desarrollo de la inversión, donde dependiendo del tipo de proyecto y las condiciones de singularidad e importancia ecológica serán los impactos anticipados. En este contexto es importante conceptualizar la sustentabilidad y sostenibilidad planteadas por la Internacional Union for Conservation of Nature and Nature Resources UICN 1,990 y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO 1,991 plantean en el orden correspondiente que:

“El desarrollo sustentable es un proceso de mejoría económica y social que satisfice las necesidades y valores de todos los grupos interesados manteniendo las opciones futuras y conservando los recursos naturales y la diversidad”

“El desarrollo sostenible es el manejo y conservación de la base de recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional, de tal manera que asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras”

Pero también esta herramienta de planificación bajo el enfoque de la sostenibilidad es empleada para evaluar varias actividades significativas de desarrollo, donde los efectos pueden ser acumulativos, siendo más eficiente si se utiliza el concepto de Evaluaciones Ambientales Regionales como lo presenta la Figura 7.1, en la cual se comparan los

escenarios alternativos de desarrollo con el objeto de recomendar tasas de crecimiento o modelos y políticas ambientalmente sustentables para el uso de un recurso, evitando pasar desapercibidos problemas por la competencia de los mismos (agua, tierra), situación que en una evaluación por proyectos puede fácilmente ser evaluada. (Banco Mundial, 1,990).

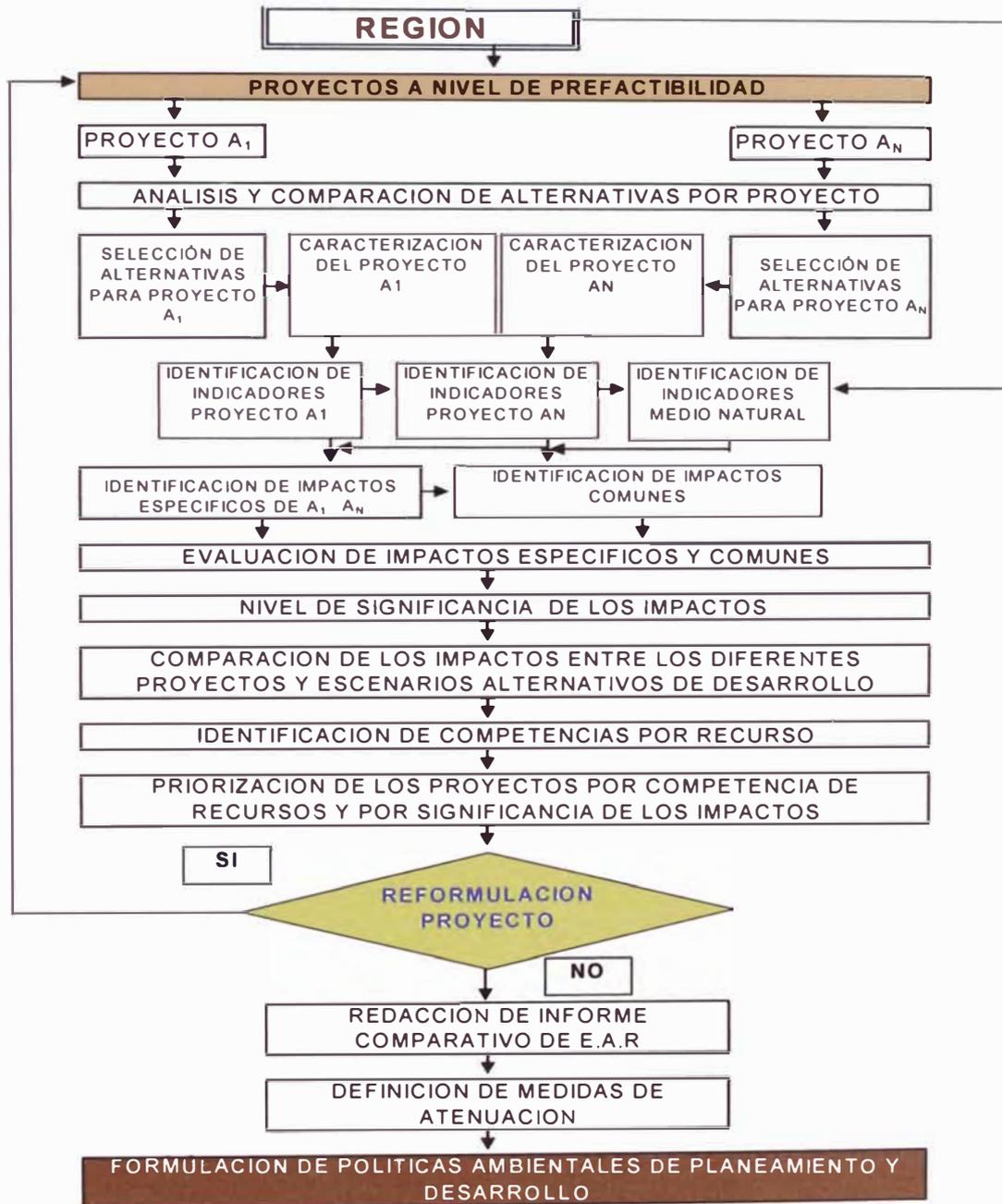


Figura 7.1 Conceptualización de una evaluación ambiental regional

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de planes, programas, o proyectos es una actividad por medio de la cual la información de impactos ambientales probables, de posibles alternativas y medidas de mitigación, son requeridas antes de la toma de decisión sobre el plan, programa o proyecto propuesto.

En el caso de proyectos de inversión para la instalación de la planta de asfalto, la toma de decisiones se verá más atinada cuando los proyectos causen el menor deterioro del medio ambiente o cuando no reduzcan la productividad de los sistemas naturales y no impongan gastos innecesarios en otras actividades.

En consecuencia, la evaluación del impacto ambiental comprende a los efectos legales, ecológicos, económicos, financieros y sociales de un estudio ambiental que permita identificar, prever y estimar impactos de toda obra-actividad en proyecto o en ejecución.

La evaluación de impacto ambiental varía según el tipo o naturaleza del proyecto, pero en cualesquiera de los casos constituye un proceso continuo, interactivo de identificación y evaluación del impacto, cuyos efectos pueden afectar o comprometer la salud humana, las actividades socioeconómicas, los recursos naturales, los paisajes, los bienes de capital o de valor estético.

Una evaluación de impacto ambiental esta dirigida a alcanzar tres tipos de valor:

- a) Sostenibilidad, por cuanto el proceso de EIA resultará en salvavidas ambientales
- b) Integridad, porque el proceso EIA estará en conformidad con estándares acordados.
- c) Utilidad, debido a que el proceso proporcionará información balanceada y confiable para la toma de decisiones.

Toda EIA, implica a su vez, la cobertura de los Principios Guía siguientes:

- a) Participación.
- b) Transferencia.
- c) Certeza.
- d) Responsabilidad.
- e) Credibilidad.
- f) Efectividad de costos.
- g) Flexibilidad.
- h) Practicidad.

Se estila o estima considerar dentro de la EIA la Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) para diferenciar un análisis nuevo adicional en el cual los elementos probabilísticos son considerados explícitamente.

Básicamente las EIA presentan una estructura que se desarrolla secuencialmente, donde interactúan el medio natural y la actividad o proyecto, en términos generales, la secuencia está definida por la caracterización de la acción o proyecto, caracterización del estado cero, identificación y evaluación de impactos, propuestas de mitigación y seguimiento o monitoreo, como lo muestra la Figura 7.2.

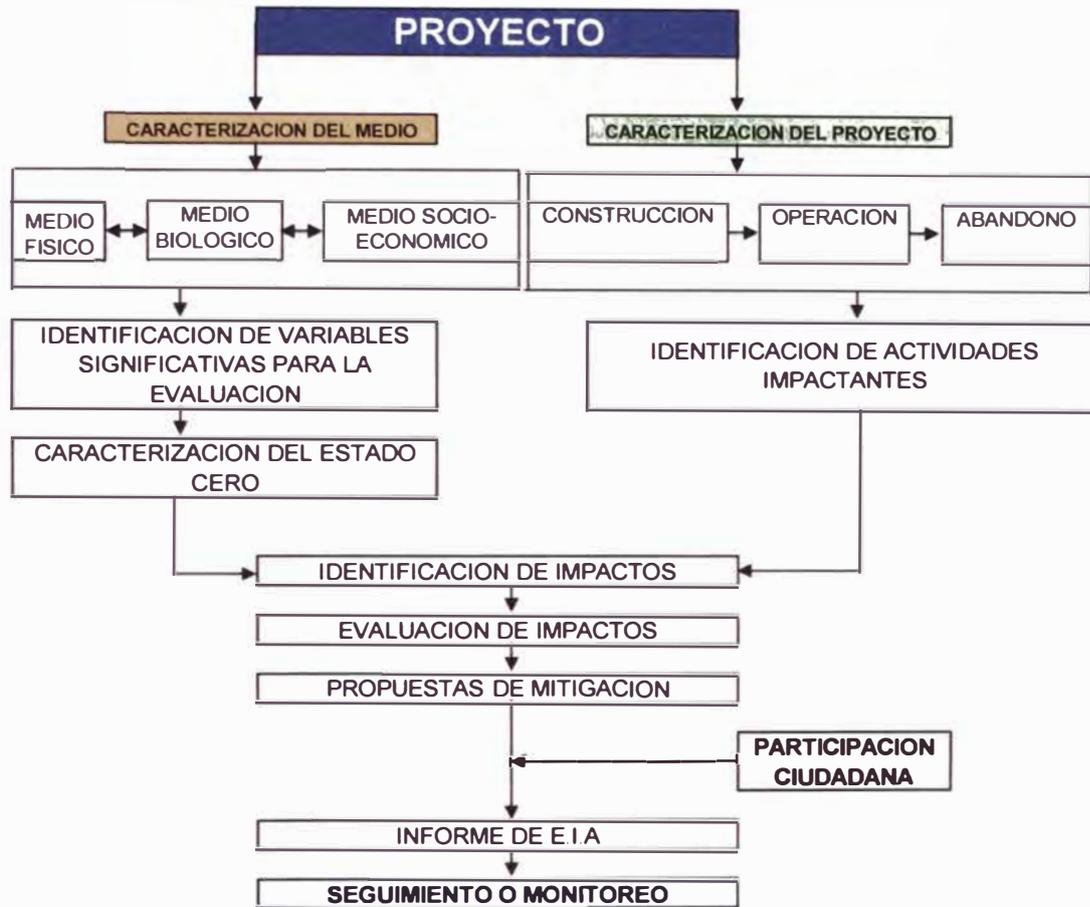


Figura 7.2 Etapas en una E.I.A

7.2 Proceso de evaluación de impacto ambiental

El proceso integral de EIA, comprende las actividades que se indican a continuación:

- a) Selección.
- b) Alcance.
- c) Evaluación.
- d) Mitigación.
- e) Informes.
- f) Revisiones.
- g) Toma de decisiones.
- h) Monitoreo y manejo.
- i) Participación ciudadana.

- a) **La selección de alternativas**, está vinculada con las actividades que permiten ordenar las opciones económicas, sociales o ambientales aceptables según criterios de decisión. Para ello es necesario contar con varias alternativas viables (incluyendo la no acción), valores de calificación o criterios explícitos de ordenamiento y un ente (individual o grupal) que efectúe la propuesta y explicita la decisión.

- b) **El alcance**, está referido al proceso para identificar a partir de un amplio rango de problemas potenciales, aquellos aspectos importantes que deben ser sometidos a una EIA. La identificación de los posibles impactos (positivos y negativos) que se pueden presentar durante la construcción, puesta en marcha y en operación normal del proyecto, permitirá no sólo describirlos sino también predecir cuantitativamente los impactos sobre el medio ambiente.
- c) **La evaluación de impactos**, se efectuará una vez concluida la identificación y predicción de impactos. Esta actividad se llevará a efecto de acuerdo a: i) indicadores o parámetros cuantitativos, ii) metodologías de procesos o cálculos cuantitativos, iii) importancia relativa de los impactos ambientales.
- d) **La valoración cuantitativa de los impactos físicos**, deberá estar acompañada de una descripción cualitativa del impacto, según el tipo o naturaleza de éste. Pudiendo ser:
- ⇒ Positivo o negativo, según el carácter o direccionalidad del impacto
 - ⇒ Temporal o permanente, según su persistencia en el tiempo.
 - ⇒ Notable o muy alto, total, medio o mínimo, según la intensidad o destrucción.
 - ⇒ Puntual, parcial, extremo, total o crítico, según la extensión del impacto.
 - ⇒ Latente, inmediato, crítico, según el momento en que se manifiesta.
 - ⇒ Irrecuperable, irreversible, reversible, mitigable, recuperable o fugaz, según su capacidad de recuperación.
 - ⇒ Directo o indirecto, según la relación causa-efecto.
 - ⇒ Simple, acumulativo o sinérgico, según la interrelación de acciones y/o efectos.
 - ⇒ Continuo, discontinuo, periódico, irregular, según su periodicidad.
 - ⇒ Crítico, severo, moderado, según la necesidad de aplicación de medidas correctivas.
- e) **La valorización económica de impactos**, se realizará considerando los efectos que repercuten sobre la salud humana, las actividades socioeconómicas, los recursos naturales, los paisajes, los bienes de capital o de valor estético, etc., los cálculos se efectúan mediante metodologías y procedimientos cuantitativos de costo-beneficio, que permitan conocer el valor monetario de los daños o beneficios de impactos en el pasado, presente o futuro.
La valorización económica de los impactos ambientales se basa en la evaluación cuantitativa-cualitativa de los impactos químicos y biofísicos.
- f) **Las medidas de mitigación**, consisten en la implementación a aplicación de cualquier política, obra o acción que tienda a minimizar o eliminar los impactos negativos o adversos sobre el ambiente, la salud humana, el rendimiento productivo, el rendimiento escolar, la esperanza de vida, la vida animal, los bosques, etc; que pueden presentarse durante las etapas del proyecto en construcción, puesta en marcha, en operación normal o conclusión. Estas medidas, también comprenden la identificación de impactos residuales no factibles de eliminación durante las etapas del proyecto antes señaladas.
- g) **La revisión de las EIA**, se precisa en razón de que es imprescindible una revisión imparcial, científica e independiente, toda vez que la EIA presentada por el proponente del proyecto debe arrojar una evidencia y transparencia a toda prueba.
La autoridad revisora es a menudo la autoridad a quien se le solicita autorización para el proyecto de desarrollo. Las preguntas relacionadas con la

imparcialidad pueden surgir cuando la agencia que autoriza ha sido responsable de la EIA. Una agencia revisora independiente puede eliminar cualquier sospecha de parcialidad en aquellos casos en los que la agencia que autoriza es defensora del desarrollo o tiene puntos de vista sin razón evidente contra el desarrollo.

- h) El monitoreo y la vigilancia**, el monitoreo es un sistema continuo de observación, de mediciones y evaluaciones para propósitos definidos. El monitoreo debe llevarse a cabo para propósitos definidos; estos propósitos deben ser vistos dentro del contexto de la administración ambiental.

En cambio, la vigilancia se considera como la supervisión llevada a cabo para observar tendencias, más que como apoyo de objetivos administrativos específicos.

Monitoreo y vigilancia con frecuencia significan cosas distintas para diferentes usuarios. El monitoreo de base o monitoreo puede aplicarse a la medición de variables ambientales durante un período representativo en la fase del anteproyecto en tanto el monitoreo de efectos surge para describir la medición periódica de variables ambientales y determinar los cambios atribuibles a la construcción y operación de los proyectos, durante las fases de operación normal y posproyecto.

- i) Información y participación ciudadana en la EIA**, La participación ciudadana está llamada a tener un rol importante, en la EIA. Pues, se deben efectuar esfuerzos para obtener los puntos de vista, y para informar, al público y otros grupos interesados sobre quién(es) puede(n) ser afectado(s) directa o indirectamente por el proyecto.

Las agencias autorizadas pueden no siempre identificar adecuadamente los aspectos ambientales que el público percibe como importantes, y podrían carecer también del conocimiento local detallado que el público posee.

Las ventajas de la participación pueden llevar a la posible identificación de acciones alternativas; unas veces a un incremento en la aceptabilidad del proyecto, debido a que el público entiende mejor las razones para el proyecto; y otras a una minimización de conflictos y atrasos.

Tampoco faltan los casos en que la participación ciudadana puede, a corta plazo, demandar mayor tiempo e incrementar los costos o los participantes pueden no ser representativos de la comunidad.

7.3 Ámbito de la EIA en el ciclo del proyecto

La evaluación de impactos ambientales durante las diferentes etapas de un proyecto de inversión se desarrolla según las guías que publican varios organismos internacionales, entre los que figuran: Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas, Organización Mundial de la Salud, etc.

Las guías analizan los proyectos desde el punto de vista ambiental, incluyendo riesgos ambientales por tipo de actividad económica. La forma y secuencia de la evaluación de impactos ambientales se explica en la Figura 7.3.

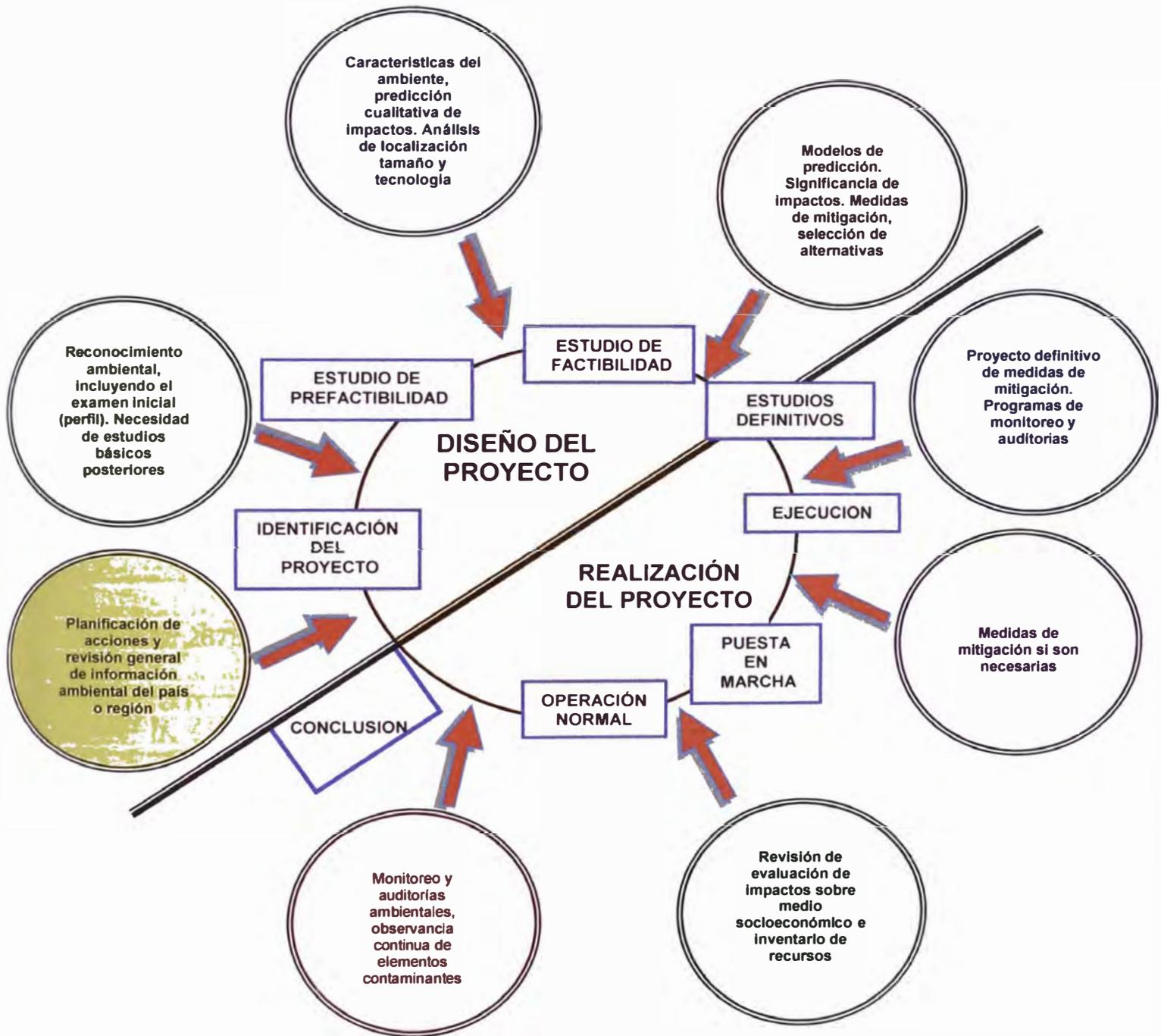


Figura 7.3 *Ámbito de la evaluación ambiental*

7.4 Normatividad socio ambiental en el Perú

7.4.1 Normas de carácter general

La Tabla 7.3 presenta la normativa socio ambiental general en el Perú.

NORMA N°	FECHA	DESCRIPCIÓN
CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERÚ	31.10.93	ARTÍCULO 2º, INCISO 22.
DECRETO LEGISLATIVO N° 613	07.09.90	CODIGO DEL MEDIO AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES.
LEY N° 26410	02.12.94	LEY DE CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE (CONAM).
D. LEG. N° 635	08.04.91	CÓDIGO PENAL - DELITOS CONTRA LA ECOLOGÍA
D. LEG. N° 757	13.11.91	LEY MARCO PARA EL CRECIMIENTO DE LA INVERSIÓN PRIVADA.
LEY N° 26786	13.05.97	LEY DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL PARA OBRAS Y ACTIVIDADES
LEY N° 27314	21.07.00	LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS
LEY N° 27446	23.04.01	LEY DEL SISTEMA NACIONAL DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.
LEY N° 28221	07.05.04	LEY QUE REGULA EL DERECHO POR EXTRACCIÓN DE MATERIALES DE LOS ÁLVEOS O CAUCES DE LOS RÍOS POR LAS MUNICIPALIDADES.
LEY N° 28245	08.06.04	LEY MARCO DEL SISTEMA NACIONAL DE GESTIÓN AMBIENTAL.
D.S.. N° 057-2004 - PCM	28.04.04	REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.
D.S. N° 008-2005-PCM	28.01.05	REGLAMENTO DE LA LEY MARCO DEL SISTEMA NACIONAL DE GESTIÓN AMBIENTAL.
R. M. N° 171-94-TCC/	25.04.94	TÉRMINOS DE

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

		REFERENCIA PARA ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN VIAL.
D.S.Nº 037-96-EM	25.11.96	APROVECHAMIENTO DE CANTERAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
R.M. Nº 188-97-EM/VMM	12.05.97	EXPLORACIÓN DE CANTERAS
R. V. M Nº 226-99 MTC /15.02	23.06.99	GUÍA DE SUPERVISIÓN AMBIENTAL DE CARRETERAS
R. M. Nº 116-2003-MTC/02	17.02.03	REGLAMENTO PARA LA INSCRIPCIÓN EN EL REGISTRO DE ENTIDADES AUTORIZADAS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL EN EL SUBSECTOR TRANSPORTES (RESOLUCIÓN DIRECTORAL Nº 004-2003-MTC/16).
R.D. Nº.004-2003-MTC/16	20.03.03	REGLAMENTO PARA LA INSCRIPCIÓN EN EL REGISTRO DE ENTIDADES AUTORIZADAS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL EN EL SUBSECTOR TRANSPORTES.
R.D. Nº. 006-2004-MTC/16	16.01.04	REGLAMENTO DE CONSULTA Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA EN EL PROCESO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL EN EL SUBSECTOR TRANSPORTES.

Tabla 7.3 Normativa socio ambiental general en el Perú

7.4.2 Normas técnicas peruanas – medio ambiente

La Tabla 7.4 presenta la clasificación de normas técnicas peruanas de medio ambiente.

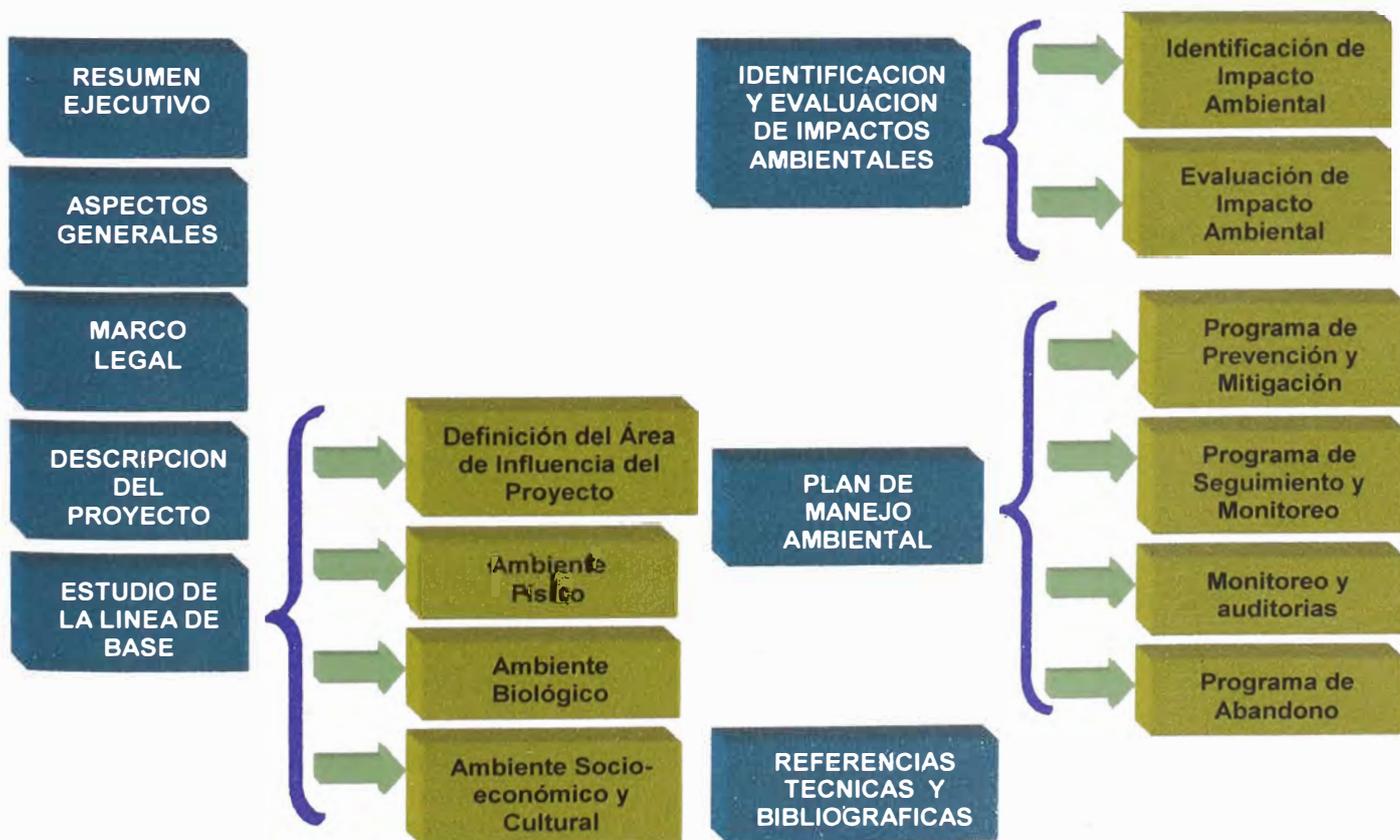
NORMA N°	FECHA	DESCRIPCIÓN
NTP 400.050	1999	MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCION.
NTP 900.004	2002	GESTION AMBIENTAL. Emisiones atmosféricas. Método para la determinación del contenido de humedad en gases de chimenea.
NTP 900.018	2003	GESTION AMBIENTAL. Emisiones atmosféricas. Medición de emisiones de compuestos orgánicos gaseosos mediante cromatografía.
NTP 900.030	2003	GESTION AMBIENTAL. Calidad de aire. Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM10 en la atmósfera.
NTP 900.031	2003	GESTION AMBIENTAL. Calidad de Aire. Principio de medición y procedimiento de calibración para la medición de monóxido de carbono en la atmósfera (fotometría infrarroja no dispersiva).
NTP 900.032	2003	GESTION AMBIENTAL. Calidad de aire. Método de referencia para la determinación de plomo en material particulado suspendido colectado en el aire del ambiente.
NTP 900.033	2004	GESTION AMBIENTAL. Calidad del aire. Principio de medición y procedimiento de calibración para la medición de dióxido de nitrógeno en la atmósfera (quimioluminiscencia) de la fase gaseosa.
NTP 900.034	2005	GESTION AMBIENTAL. Calidad de Aire. Principio de medición y procedimiento de calibración para la medición de ozono en la atmósfera.
GP 018	2003	GESTION AMBIENTAL Y LAS NORMAS NTP-ISO 14000.
NTP 400.050	1999	MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCION. Generalidades.
NTP 400.051	1999	MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCION. Reciclaje de mezclas asfálticas de demolición.
NTP 400.052	2000	MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCION. Reutilización y reciclaje de materiales de bases y sub-bases provenientes de la demolición de carreteras o plataformas.
NTP 400.053	1999	MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCION. Reciclaje de concreto de demolición.
NTP 400.054	2000	MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCION. Reciclaje de materiales de demolición no clasificados.
NTP 900.034	2005	GESTION AMBIENTAL. Calidad de Aire. Principio de medición y procedimiento de calibración para la medición de ozono en la atmósfera.

Tabla 7.4 Clasificación de normas técnicas peruanas de medio ambiente

7.5 Aproximación general a las metodologías en E.I.A

Existe una importante diversidad de metodologías para la Evaluación de Impacto Ambiental, (E.I.A.) algunas simples y otras más complicadas para la identificación, cuantificación y evaluación de los impactos generados por actividades de desarrollo. Estas surgen fundamentalmente en la década de los años 1,970 como consecuencia de la Ley Nacional de Política Ambiental de los E.U.A, en los años posteriores se tuvo una proliferación de metodologías para realizar las E.I.A. al igual que algunas técnicas para determinar impactos individuales, las revisiones de las metodologías y su descripción se encuentran en Clark et al., 1,980, Bisset, 1,984 y Wathern,1,984.

En términos generales, bien se puede afirmar que ningún método de E.I.A. puede ser considerado el mejor, como tampoco se puede asegurar que existe un método que sirva o sea apropiado para la evaluación de cualquier tipo de proyecto, por ello, la elección de un método debe estar basado en su concepción y relación con el tipo de estudio a desarrollar, debe tener en cuenta los recursos técnicos y financieros, la duración o tiempo para desarrollar el estudio, los datos o información existente, los requisitos legales a los que hay que responder y los términos de referencia para la ejecución del estudio. Bien se podría afirmar que los métodos serán útiles en la medida que sus principios básicos permitan acceder a una visión global e interdisciplinaria de los componentes ambientales, viendo las posibilidades de adaptación a las condiciones particulares de la zona donde se desarrolla el estudio. Una metodología para realizar los Estudios de Impacto Ambiental para el caso de los Proyectos Viales en el Perú se muestra en la Figura 7.4.



(Fuente; Juan Quintero. Banco Mundial. Taller sobre EAE. MTC. 2005)

Figura 7.4 Estructura de los estudios de impacto ambiental para proyectos viales

7.5.1 Tipos básicos de métodos en E.I.A.

7.5.1.1.- Método Ad-Hoc

También conocido como paneles o reunión de especialistas. Consiste en grupos de trabajo formado por profesionales de diferentes disciplinas de acuerdo con las características del proyecto a ser evaluado.

Los especialistas son seleccionados entre personas de reconocida experiencia práctica y conocimientos del área afectada. Se desarrollan reuniones de trabajo e intercambio con el objeto que en tiempo reducido se pueda obtener información respecto a los posibles impactos ambientales del proyecto, con base en la experiencia profesional de cada participante. Este tipo de método fue desarrollado para ser utilizado cuando se tiene poco tiempo y hay carencia de datos para un procesamiento sistemático.

La más importante crítica al método es el alto grado de subjetividad de los resultados, que dependen de las características y cualidades de la coordinación, de la selección de los componentes del grupo de trabajo y del nivel de información.

Algunos países limitan de antemano la realización de E.I.A. usando métodos Ad-Hoc tales como Brasil (Moreira, 1,992). Un ejemplo de este tipo de método es el Método Delphi (Listone 1.975), el cual fue creado para toma de decisiones por políticos, empresarios, autoridades gubernamentales; especialmente para suplir deficiencias de información objetiva (Alvarado, 1,977).

7.5.1.2.- Método de listas de control, verificación o "chequeo"

Más que un método de E.I.A. consiste en una relación de factores y parámetros ambientales, con el objetivo de servir de orientación a los que elaboran un estudio de impacto ambiental, considerando todos sus aspectos y variables sin dejar ningún elemento de importancia para la toma de decisiones.

Estas listas tienen sus orígenes desde los inicios de las prácticas de E.I.A. y son, actualmente, utilizadas en diagnósticos ambientales de áreas de influencia de proyectos y en la comparación de alternativas.

Las listas proporcionan en forma rápida una idea general sobre aquellas actividades de un proyecto que pueden afectar al ambiente y a la salud de la población, de los factores ambientales que necesitan ser evaluados, o de los posibles impactos ambientales sobre los que el evaluador deberá profundizar y formular juicios técnicos. Existen los siguientes tipos de Listas de Control de Verificación:

- ⇒ Listas de Control Simple.
- ⇒ Listas de Control Descriptivas.
- ⇒ Listas de Control de Escalas.
- ⇒ Listas de Control de Escala y Peso.

a) Listas de control simple

Estas fueron las primeras en ser concebidas. Enumeran los factores ambientales y en algunas ocasiones sus respectivos indicadores, esto es, los parámetros que permiten el establecimiento de medidas para un cálculo (cuantitativo o cualitativo) de magnitud de los impactos. En muchos casos incluyen listas de acciones a desarrollar en un proyecto.

Algunos ejemplos de la aplicación del método se tienen en la evaluación de vías y fue preparada por el "Department of Transportation" (Canter, 1,977), donde básicamente se identifican impactos sobre la calidad del agua, del aire, de la erosión del suelo, económicos, ecológicos, sociopolíticos, visuales o estéticos, y se identifica la fase del proyecto en que se desarrollan. Dentro de las listas simples se presentan las siguientes subdivisiones:

- ⇒ Listas de parámetros ambientales que pueden ser afectados, donde es necesario verificar si el proyecto bajo estudio será realizable.
- ⇒ Listas donde los elementos a ser verificados están agrupados según las distintas etapas del proyecto.
- ⇒ Listas con agrupamientos de población donde se verifica si el proyecto de desarrollo podrá afectar a su salud.

b) Listas de control descriptivas

Aparte de los parámetros ambientales, facilitan una orientación para el análisis de impactos ambientales, así una lista de control preparada por "The Urban Institute" de Washington en 1,976 presenta los factores ambientales a ser considerados para cada uno de los criterios de evaluación que deben ser empleados (Canter, 1,983), presenta algunos de los 47 factores tenidos en cuenta. Las listas de control descriptivo pueden tomar forma de cuestionario, en el cual una serie de preguntas intentan dar un tratamiento integrado al análisis de los impactos. Un método desarrollado bajo este criterio fue el "Projet Appraisal for Development Control". 1,976 en Gran Bretaña, y presenta un amplio cuestionario a ser usado por las agencias del gobierno para evaluación de Proyectos Industriales.

Las preguntas tratan de identificar y describir los impactos directos e indirectos relacionados con los factores ambientales afectados (Clark, 1,976) los cuales se describen con detalle y se recomienda asignarles un valor para su interpretación. Los impactos señalados pueden ser positivos o negativos.

c) Listas de control de escalas

Aquí se presentan los medios de atribuir valores numéricos o símbolos para cada factor ambiental, permitiendo la clasificación y comparación de un proyecto para escoger la alternativa más favorable.

Esta metodología fue aplicada en un análisis para un proyecto en Nuevo México, Estados Unidos, (Canter, 1,983), donde se evaluaban las alternativas de tratamiento, con referencia a 8 factores y donde los valores de calificación para los factores iban desde 1 (menor impacto) a 3 (mayor impacto) y el promedio algebraico de los valores asignados proporcionaba la medida o grado de impacto.

d) Listas de control de escala y peso

Estas incorporan un grado de importancia de cada impacto para una valoración de su magnitud. Se desarrollan para proyectos de uso de recursos hídricos, aunque su enfoque puede ser ampliado para evaluación de áreas con una visión integrada de los recursos. Ejemplo de este Método es el "Environmental Evaluation System" cuya intención, cuando fue creado, era promover un enfoque sistemático holístico y jerarquizado del medio natural con especial referencia al recurso hídrico.

7.5.1.3.- Método del sistema de evaluación ambiental

Esta metodología fue desarrollada por los laboratorios del Battelle-Columbus a solicitud de la EPA de los E.U.A (Método Battelle-Columbus, 1,972), (Dee, N., 1,973) y está orientado a la planificación del recurso agua, pudiendo ser aplicado a otro tipo de necesidades, y a diferencia de Leopold, se puede considerar un modelo de evaluación.

Esta metodología establece una lista de indicadores de impacto, con 78 parámetros ambientales que integra en cuatro grandes grupos que son:

- Ecología.
- Contaminación Ambiental.
- Aspectos Estéticos.
- Aspectos de Interés Humano.

Esto con el objeto de establecer niveles de información progresiva, desde las categorías ambientales, los componentes y finalmente los parámetros, siendo este último el nivel de evaluación. Estos parámetros se evalúan en unidades conmensurables (comparables) representando el resultado de mediciones reales.

La metodología permite determinar la calidad ambiental de un parámetro en función de su magnitud y posibilita el cálculo del impacto global del proyecto. El concepto básico de esta metodología es que un índice expresado en unidades de Impacto Ambiental puede ser aplicado para cada alternativa.

Entre sus deficiencias algunos autores plantean el hecho de transformar los resultados objetivos que expresan las alteraciones de los componentes del medio, en escalas numéricas que no tienen significado para los interesados y responsables de la decisión.

De hecho, la forma en que se presentan los resultados finales de la evaluación hace que se tienda a identificar las desventajas y beneficios del proyecto y sus alternativas. Este método tampoco establece una relación temporoespacial de los impactos, ni analiza los impactos indirectos.

7.5.1.4.- Método "threshold of concern"

Esta metodología presenta una visión pragmática de la evaluación de impacto ambiental y fue concebida para ser aplicada a la gestión de proyectos forestales, y desarrollada por

los técnicos de “National Forest of Mout Hood” del Servicio Forestal de Los Estados Unidos de América (Sassaman, 1,981).

“Threshold of Concern” que significa Parámetro de Tolerancia o Límite de Interés, o Punto Crítico de un Valor o Parámetro Ambiental, a partir del cual cualquier alteración es una preocupación, Cuando este valor es excedido significa que se tiene un impacto ambiental positivo o negativo.

En este método el factor ambiental definido puede ser o un componente del medio natural o un parámetro de producción forestal, expresándose el límite de interés como el máximo impacto admisible o el mínimo de productividad de un recurso (madera, forraje) que puede ser aceptado.

Esta metodología permite la comparación de alternativas de proyectos en cuanto a sus impactos en el medio, el método se desarrolla en 4 etapas:

1. Lista de factores ambientales de importancia para el área forestal en estudio.
2. Escoger criterios o indicadores que mejor caracterizan cada factor ambiental y que pueden ser los patrones de cualidades ambientales establecidas por ley, u otro criterio, escogido por la administración del área forestada, con ayuda de un equipo interdisciplinario.
3. Escoger el límite de interés de cada criterio, por medio de análisis ambiental del área afectada, realizado esto por un equipo interdisciplinario y especializado, cuando un criterio escogido implica una consideración de más de un parámetro, se elabora una escala de efectos para sustituirlos de 0 a 5. Cualquier impacto que pase el límite de interés es considerado significativo,
4. Lista de probables impactos de cada alternativa de proyecto y su duración, cuando es posible el impacto debe ser cuantificado y su duración expresada por símbolos,

7.5.1.5.- Método de Crawford

Fue desarrollado por Crawford (1,973) para ser usado en la evaluación de alternativas de vías. Utiliza el método Delphi como técnica de integración de la comunidad, con el objeto de reunir información para:

- Asignación de pesos relativos.
- Predicción de posibles consecuencias (efectos) por alternativa evaluada.
- Estimación de la probabilidad para la predicción de los efectos.
- Determinación de la magnitud que representa el impacto de sobre cada criterio de evaluación.

Un panel interdisciplinario de expertos es el responsable de predecir las consecuencias (efectos) y estimar la probabilidad de ocurrencia por cada alternativa de vía existente.

La estimación de la magnitud del impacto se plantea sobre una escala de siete puntos desde + 3 a - 3, El impacto de una alternativa sobre cada grupo de criterios de evaluación es calculado multiplicando la magnitud del impacto por su probabilidad.

7.5.2 Metodologías de matrices interactivas

Este acercamiento metodológico ha sido generalmente utilizado para identificación de impactos en las evaluaciones de impacto ambiental. Estas matrices, conocidas como de doble entrada, funcionan como listas de control bidimensional, disponiendo a lo largo de sus ejes verticales y horizontales las acciones de implantación del proyecto y los factores ambientales que podrían ser afectados, permitiendo asignarles en sus cuadrículas correspondientes las interacciones o impactos de cada acción sobre los componentes por ellos modificados. Completada la matriz se tiene una visión integrada de los impactos sobre el componente natural.

Las matrices interactivas (causa-efecto) fueron de las primeras metodologías de EIA que surgieron. Una matriz interactiva simple, muestra las acciones del proyecto o actividades en un eje y los factores ambientales pertinentes a lo largo del otro eje la matriz.

Cuando se espera que una acción determinada provoque un cambio en un factor ambiental, éste se apunta en el punto de interacción de la matriz y se describe además en términos de consideraciones de magnitud e importancia. Se han utilizado muchas variaciones de esta matriz interactiva en los estudios de impacto, incluyendo entre ella las matrices por etapas (Canter, 1,986; ESCP, 1990; Lohani y Halim, 1,990; Internacional Institute for Applied Systems Analysis, 1,979).

7.5.2.1.- Método de matriz de Fearo

Su nombre deriva de las siglas de la Oficina Federal de Revisión y Análisis Ambientales (FEARO) del Canadá, la cual desarrolló dos matrices con el objeto de realizar una evaluación preliminar, sin que se necesitaran conocimientos ambientales profundos. La primera sirve para hacer un análisis general de los impactos, y la segunda para alcanzar más detalle.

En ellas se relaciona una lista de actividades del proyecto con las áreas donde pueden haber impactos, con lo cual, además de determinar deficiencias de información y prever en que áreas se presentarán impactos, se pueden establecer medidas que mitiguen efectos adversos ocasionados por las actividades del proyecto.

Los criterios usados para evaluar el posible efecto ambiental son:

- ⇒ **Magnitud:** Severidad de cada impacto potencial en relación a su reversibilidad.
- ⇒ **Durabilidad:** Lapso en el que el impacto pueda extenderse.
- ⇒ **Plazo y Frecuencia:** El impacto puede ser a corto, mediano o largo plazo y puede ser intermitente o no.
- ⇒ **Riesgo:** Probabilidad de ocurrencia (demanda conocimiento tanto de las actividades del proyecto como de su área de influencia).
- ⇒ **Importancia:** Valor asignado al área por su estado actual.
- ⇒ **Mitigación:** Soluciones disponibles o factibles a los impactos negativos.

El procedimiento para usar la matriz es:

- ⇒ Señalar con una marca, las actividades que puedan tener lugar durante las etapas de desarrollo del proyecto.
- ⇒ Señalar con una marca, las áreas en los componentes físico-químicos, ecológicos y socioeconómicos que puedan ser afectados por las actividades antes señaladas.
- ⇒ En los cuadros donde se haya encontrado una interacción, sea esta positiva o negativa, se procede a especificar su naturaleza de acuerdo a los símbolos que se seleccionen.

Al final del ejercicio se puede determinar si es necesario realizar un estudio exhaustivo de impacto ambiental. En caso de ser necesario presentar una E.I.A, se tiene la ventaja que la información obtenida servirá para definir las áreas que requieren atención especial:

- Donde se encuentren impactos negativos se debe recopilar más información para pasar a la cuantificación de los impactos, en magnitud e importancia y determinar medidas para mitigarlos.
- Donde exista poca información debe realizarse una investigación más completa.

7.5.2.2.- Método de matriz de Moore

Este autor desarrolló una matriz para describir la relación entre actividades de la manufactura de productos y sus impactos potenciales. En este método, el análisis de los impactos de las actividades derivadas de la manufactura de bienes y productos se basa en los usos humanos del ambiente. La matriz tiene 4 grandes categorías:

1. Manufacturas y actividades relacionadas.
2. Alteraciones ambientales potenciales.
3. Principales efectos ambientales.
4. Usos humanos afectados.

También se incluyen en esta matriz dos categorías de impactos, una relacionada con los daños potenciales causados por las actividades y otra con la magnitud de la degradación potencial de los usos del ambiente por el hombre. Estas dos categorías se evalúan usando escala de 4 niveles así:

1. Despreciable.
2. Bajo.
3. Moderado.
4. Alto.

7.5.2.3.- Método de matriz escalonada de Sorensen

Este autor desarrolló una técnica para estudiar los impactos de un proyecto de un parque industrial de 30 hectáreas localizado en la población de Fresno, California.

El proyecto de desarrollo incluyó dos acciones separadas y simultáneas:

- La primera fue un préstamo para mejorar las instalaciones de proceso de dos industrias que se encontraban localizadas dentro del área del proyecto, con el fin de incrementar la producción y controlar la emisión de malos olores.
- La segunda acción fue una concesión de la ciudad de Fresno para facilitar la adquisición, renovación y desarrollo del sitio para uso de industrias pesadas.

Los pasos requeridos para el uso de la matriz escalonada de Sorensen son los siguientes:

- a) Entrar en la esquina superior izquierda de la matriz, bajo el título de elementos del proyecto.
- b) Leer hacia la derecha de la matriz, hasta encontrar los factores causales.
- c) Marcar, con un pequeño círculo, donde se presenta una relación entre un elemento del proyecto y un factor causal. .
- d) Encontrar, buscando del círculo marcado hacia abajo de la matriz, los elementos del ambiente que pueden ser alterados. Donde se presente una interacción entre un factor causal y un elemento del ambiente, colocar diferentes signos, que indiquen que el impacto es:
 - Positivo importante.
 - Positivo poco importante.
 - Negativo importante.
 - Negativo poco importante.
 - No se puede determinar ni su magnitud ni la duración.

Junto a cualquiera de los signos que se colocan en la matriz, se debe escribir el número correspondiente al elemento que originó el impacto.

Donde haya marcado uno de los signos mencionados en el inciso anterior, dirigirse hacia la derecha de la matriz hasta encontrar la columna denominada condición inicial, donde se anota la condición que presenta inicialmente el elemento alterado.

En la siguiente columna, a la derecha de la matriz, se anota el mecanismo de cambio del elemento alterado.

En la siguiente columna, a la derecha, se anota la posible condición final del elemento alterado.

La última columna a la derecha se reserva para anotar las medidas correctivas potenciales, que se deben tener en cuenta para minimizar los impactos.

7.5.2.4.- Método de Fisher y Davis

Este método (Fisher and Davis, 1,973), utiliza el concepto de matriz de interacción para el análisis de impactos ambientales, como parte de una visión más amplia e integradora del proceso que incluye:

- a) La identificación de las actividades propuestas para un proyecto y las actividades por él inducidas.
- b) La identificación de los más importantes elementos ambientales que pueden ser afectados por esas actividades.
- c) La evaluación de las cualidades de los elementos, antes y después de las actividades.
- d) La gestión de los impactos ambientales.

El método debe ser aplicado por un pequeño grupo multidisciplinario, que orienta, coordina e interpreta los estudios elaborados por los especialistas.

El método se desarrolla en tres etapas:

Primera etapa:

Evaluación de las condiciones ambientales del área donde se desarrolla el proyecto. Esto se elabora a través de la preparación de un cuadro que contiene la lista de los elementos ambientales más importantes y una clasificación de cada uno de ellos, en una escala de 1 a 5 antes del proyecto, en cuanto a su importancia, a sus características, a las necesidades de manejo y gestión en términos de costo de las prácticas de recuperación de las cualidades afectadas.

Los valores de clasificación son asignados por el equipo multidisciplinario por consenso, a la luz de sus conocimientos técnicos.

Segunda etapa:

Se procede a la construcción de una matriz de compatibilidad ambiental, donde se realiza una evaluación global destinada a prever las alteraciones futuras causadas por el proyecto.

En las filas se presentan los factores ambientales y en las columnas las actividades del proyecto, cada cruce o interacción corresponde a un efecto donde se asignan valores de magnitud en una escala de 1 a 5 siendo el menor impacto 1 y el máximo 5 y se denota con símbolos + ó - según sean beneficiosos o negativos, al igual que se define la duración con S y L para corta o larga duración del efecto. Así la notación +5L significa impacto positivo de alta magnitud y larga duración.

Tercera etapa:

Se prepara una matriz de decisión que tiene como objetivo realizar una comparación de alternativas y de las condiciones de gestión y manejo de los recursos naturales.

En la primera columna, se colocan los índices obtenidos en la columna de condiciones iniciales, del cuadro elaborado en la primera etapa. En las columnas siguientes se localizan los índices de impacto ambiental de las alternativas del proyecto generados en la matriz de compatibilidad ambiental, utilizando los valores + ó - más altos (4, 5). En las filas se colocan los criterios de decisión, esto es los factores ambientales afectados por impactos de valor – ó +.

Este método comparado con el de Leopold permite un acercamiento a la temporalidad de forma muy cualitativa y elabora al final una matriz de decisión que no es más que la comparación de la zona sin proyecto con las alternativas posibles, presenta un alto grado de subjetividad, y no posibilita establecer una relación causa efecto de los impactos generados.

Tiene su interés por ser uno de los primeros métodos en los que se integra la relación temporal en el proceso de análisis.

7.5.2.5.- Método de Loran

Esta metodología propuesta por Loran (Loran, 1,975) también se desarrolla utilizando el principio de una matriz de doble entrada. Para su planteamiento utiliza una selección de 234 actividades del proyecto y las cruza con 27 características ambientales para un total de 6,318 células de interacción. No utiliza específicamente el concepto de importancia y sólo se asigna un valor numérico expresado en una escala de 0 (ninguno) a 5 (severo) por un grupo interdisciplinario, este valor es interpretado como la severidad o gravedad del impacto. El procesamiento de esta matriz se hace a través de un algoritmo de agregación de los impactos para alcanzar vía la metodología “*clustering*” una relación de los impactos. La metodología no provee una evaluación de las posibles alternativas que se pudiesen presentar del proyecto y la evaluación no indica, como los valores de impactos representativos que se encuentran aislados y distantes en el proceso de agregación del “*cluster*” podrían ser mitigados. Se sugiere que esta técnica puede ser utilizada para identificar áreas ambientales críticas

7.5.2.6.- Método de la matriz de Leopold

Una de las primeras propuestas metodológicas desarrolladas fue la matriz de Leopold, que en verdad es un método de identificación más que de evaluación y fue preparada para el Servicio Geológico del Ministerio del Interior de los E.U.A. como elemento de guía. (Leopold et al, 1,971). En verdad el método consiste en una matriz en la cual, en sus columnas se colocan las acciones relacionadas con el desarrollo del proyecto y en las filas las características del medio que pueden ser alteradas.

Es un método universalmente empleado para realizar la evaluación del impacto ambiental que puede producir un determinado proyecto, tomando en consideración las actuaciones que se tienen previstas para llevarlo a cabo y sus repercusiones ambientales en los distintos factores ambientales considerados.

En esta matriz considera 100 acciones y 88 elementos ambientales obteniéndose un total de 8,800 interacciones, donde cada interacción representa un posible impacto y la evaluación de los efectos que se consideran más relevantes se realiza a través de asignar dos valores a cada casilla marcada, siendo estos el valor de la magnitud y la importancia.

Las principales ventajas del uso de la matriz de Leopold son los pocos recursos necesarios para su aplicación y su utilidad para la identificación de impactos. Entre sus desventajas se tiene que un impacto se puede contabilizar dos veces ya que no establece

el principio de exclusión, no es selectiva en cuanto a los aspectos más críticos o de mayor impacto ambiental, y no integra una razón de temporalidad.

Para nuestro caso referido a la evaluación del impacto ambiental en la instalación de la planta de asfalto en caliente utilizaremos el método de Matriz Interactiva desarrollado por Leopold et al., (1971). Con las fichas del Anexo 5.

La Figura 7.5 ilustra el concepto de la Matriz de Leopold. Al utilizarla se debe considerar cada acción y su potencial de impacto sobre cada elemento ambiental. Cuando se prevé un impacto, la matriz aparece marcada con una línea diagonal en la correspondiente casilla de esa interacción.

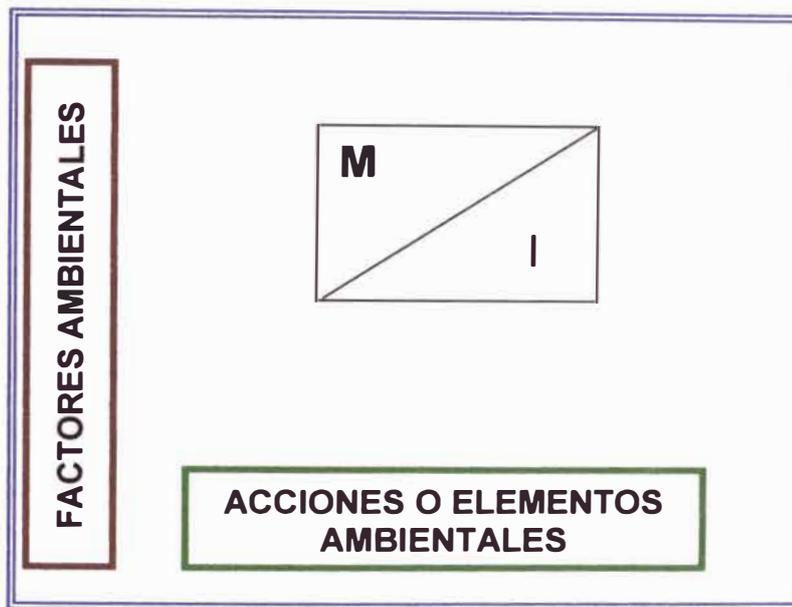


Figura 7.5 Matriz interactiva de Leopold; M: magnitud; I: importancia (Leopold et al., 1971)

La matriz tiene representados en las ordenadas los distintos factores ambientales que pueden ser afectados por el proyecto, como: las características físico-químicas (tierra, agua, atmósfera, procesos), las condiciones biológicas (fauna, flora), factores culturales (usos del territorio, valores recreativos, estéticos, culturales, infraestructura), las relaciones ecológicas y otros.

En abscisas aparece una lista de acciones posibles que se contemplan en el proyecto que pueden causar efectos ambientales tales como modificaciones del régimen, transformaciones del territorio, extracción de recursos, alteración del terreno, accidentes, etc. El estudio de las causas y sus efectos ambientales en cada factor afectado se representa en la intersección de ambos en la matriz, por medio de dos números separados por una barra, de los cuales el de la izquierda indica la magnitud del impacto que se ha evaluado y el de la derecha la importancia que se ha determinado para tal impacto. Se realiza la valoración sobre 10, representando este valor la máxima magnitud y el máximo impacto.

La Tabla 7.5 contiene los factores ambientales afectados de la matriz de Leopold.

A. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS	
A.1 TIERRA	
a. Recursos minerales	d. Geomorfología
b. Material de construcción	e. Campos magnéticos y radioactividad de fondo
c. Suelos	f. Factores físicos singulares
A.2 AGUA	
a. Superficiales	e. Temperatura
b. Marinas	f. Recarga
c. Subterráneas	g. Nieve, hielos y heladas
d. Calidad	
A.3 ATMOSFERA	
a. Calidad (gases, partículas)	c. Temperatura
b. Clima (micro, macro)	
A.4 PROCESOS	
a. Inundaciones	f. Compactación y asentamientos
b. Erosión	g. Estabilidad
c. Solución	h. Sismología (terremotos)
d. Absorción (intercambio de iones complejos)	i. Movimientos de aire
e. Deposición (sedimentación y precipitación)	
B. CONDICIONES BIOLÓGICAS	
B.1 FLORA	
a. Árboles	f. Plantas acuáticas
b. Arbustos	g. Especies en peligro
c. Hierbas	h. Barreras, obstáculos
d. Cosechas	i. Corredores
e. Microflora	
B.2 FAUNA	
a. Aves	f. Microfauna
b. Animales terrestres, incluso reptiles	g. Especies en peligro
c. Peces y mariscos	h. Barreras
d. Organismos bentónicos	i. Corredores
e. Insectos	
C. FACTORES CULTURALES	
C.1 USOS DEL TERRITORIO	
a. Espacios abiertos y salvajes	f. Zona residencial
b. Zonas húmedas	g. Zona comercial
c. Selvicultura	h. Zona industrial
d. Pastos	i. Minas y canteras
e. Agricultura	
C.2 RECREATIVOS	
a. Caza	e. Camping
b. Pesca	f. Excursión
c. Navegación	g. Zonas de recreo
d. Zona de baño	
C.3 ESTÉTICOS Y DE INTERÉS HUMANO	
a. Vistas panorámicas y paisajes	f. Parques y reservas
b. Naturaleza	g. Monumentos
c. Espacios abiertos	h. Espacios o ecosistemas especiales
d. Paisajes	i. Lugares u objetos históricos o arqueológicos
e. Agentes físicos singulares	j. Desarmonías
C.4 NIVEL CULTURAL	
a. Modelos culturales (estilos de vida)	c. Empleo
b. Salud y seguridad	d. Densidad de población
C.5 SERVICIOS E INFRAESTRUCTURA	
a. Estructuras	d. Disposición de residuos
b. Red de transportes (movimiento y acceso)	e. Barreras
c. Red de servicios	f. Corredores
D. RELACIONES ECOLÓGICAS	
a. Salinización de recursos hidráulicos	e. Salinización de suelos
b. Euforización	f. Invasión de maleza
c. Vectores, insectos y enfermedades	g. Otros
d. Cadenas alimentarias	
E. OTROS	

Tabla 7.5 Factores ambientales matriz de Leopold

La Tabla 7.6 presenta la lista de dichas acciones o factores ambientales que pueden causar el correspondiente impacto ambiental.

A. MODIFICACION DEL REGIMEN	
a. Introducción de flora y fauna exótica b. Controles biológicos c. Modificación del habitat d. Alteración de la cubierta terrestre e. Alteración de la hidrología f. Alteración del drenaje g. Control del rio y modificación del flujo	h. Canalización i. Riego j. Modificación del clima k. Incendios l. Superficie o pavimento m. Ruido y vibraciones
B. TRANSFORMACION DEL TERRITORIO Y CONSTRUCCION	
a. Urbanización b. Emplazamientos industriales y edificios c. Aeropuertos d. Autopistas y puentes e. Carreteras y caminos f. Vías férreas g. Cables y elevadores h. Lineas de transmisión, oleoductos i. Barreras, muros j. Dragados y modificación de canales	k. Revestimiento de canales l. Canales m. Presas y embalses n. Escolleras, diques, puertos deportivos y terminales marítimos o. Estructuras en alta mar p. Estructuras recreacionales q. Voladuras y perforaciones r. Desmontes y rellenos s. Túneles y estructuras subterráneas
C. EXTRACCION DE RECURSOS	
a. Voladuras y perforaciones b. Excavaciones superficiales c. Excavaciones subterráneas d. Perforación de pozos y transporte de fluidos	e. Dragados f. Explotación forestal g. Pesca comercial y caza
D. PROCESOS	
a. Agricultura b. Ganaderías y pastoreo c. Alimento para ganado d. Industrias lácteas e. Generación de energía eléctrica f. Minería g. Metalurgia h. Industria química	i. Industria textil j. Automóviles y aeroplanos k. Refinerías de petróleo l. Alimentación m. Herrerías (explotación de madera) n. Celulosa y papel o. Almacenamiento de productos
E. ALTERACIONES DEL TERRENO	
a. Control de la erosión, cultivos en terrazas b. Cierre de minas y control de residuos c. Rehabilitación de minas a cielo abierto	d. Paisaje e. Dragados de puertos f. Material de préstamo y drenaje
F. RECURSOS RENOVABLES	
a. Repoblación forestal b. Gestión y control de vida natural c. Recarga de aguas subterráneas	d. Fertilización e. Reciclado de residuos sólidos
G. CAMBIOS EN TRAFICO	
a. Ferrocarril b. Automóvil c. Camiones d. Barcos e. Aviones f. Tráfico fluvial	g. Deportes náuticos h. Caminos i. Teleféricos j. Comunicaciones k. Oleoductos
H. SITUACION Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS	
a. Residuos eliminados a mar abierto b. Rellenos sanitarios c. Tratamiento de residuos y desperdicios mineros d. Almacenamiento subterráneo e. Disposición de chatarra f. Derrames en pozos petroleros g. Disposición en pozos profundos	h. Eliminación de aguas de refrigeración i. Eliminación de residuos urbanos j. Eliminación de efluentes líquidos k. Lagunas de estabilización y oxidación l. Tanques y pozos sépticos comercial y doméstico m. Emisión de corrientes residuales a la atmósfera n. Lubricantes o aceites usados
I. TRATAMIENTO QUIMICO	
a. Fertilización b. Descongelación química de autopistas c. Estabilización química del suelo	d. Control de maleza y vegetación terrestre e. Pesticidas
J. ACCIDENTES	
a. Explosivos b. Escapes y fugas	c. Fallos de funcionamiento
K. OTROS	

Tabla 7.6 Acciones propuestas que pueden causar impacto ambiental matriz de Leopold

El segundo paso en el uso de la Matriz de Leopold es describir la interacción en términos de magnitud e importancia. La magnitud de una interacción es su extensión o escala se describe mediante la asignación de un valor numérico comprendido entre 1 y 10, donde 10 representa una gran magnitud y una pequeña. Los valores próximos al 5 en la escala de magnitud representan impactos de extensión intermedia. La asignación de un valor numérico de la magnitud de una interacción debe basarse en una valoración objetiva de los hechos relacionados con el impacto previsto.

La importancia de una interacción esta relacionado con lo significativo que ésta sea, o con una evaluación de las consecuencias probables del impacto previsto. La escala de la importancia también varía de 1 a 10, en la que 10 representa una interacción muy importante y una interacción de relativa poca importancia. La asignación de este valor numérico de la importancia se basa en el juicio subjetivo de la persona, el grupo reducido o el equipo multidisciplinar que trabaja en el estudio.

Uno de los aspectos más atractivos de la Matriz de Leopold es que puede extenderse o contraerse; es decir el número de acciones puede aumentarse o disminuirse del total de cerca de 100, y el número de factores ambientales puede aumentarse o disminuirse de los cerca de los 90 propuestos.

Las ventajas principales de utilizar la Matriz de Leopold consisten en que es muy útil como instrumento de screening para desarrollar una identificación de impactos y puede proporcionar un desarrollo visual de los elementos impactados y de las principales acciones que causen impactos.

La agregación del número de filas y columnas que se hayan señalado con iteracciones puede ilustrar la evaluación del impacto. Se pueden utilizar otras elaboraciones adicionales para discutir los resultados de una matriz de interacción simple.

Por ejemplo, suponiendo que una matriz incorpora los impactos de 8 acciones sobre 20 factores ambientales. Más aún, suponiendo que la acción media haría que 10 factores sufrirán impacto, el número medio de impactos por factor es 6. Los impactos pueden agruparse y discutirse en términos de esas acciones que se muestran un número de impacto mayor que la media, cerca de la media y un poco menos que la media. Un enfoque similar puede utilizarse para tratar los factores ambientales que reciban impactos.

La Matriz de Leopold puede utilizarse también para identificar impactos beneficiosos y adversos mediante el uso de símbolos adecuados como el + y el -, adicionalmente, la matriz de Leopold puede emplearse para identificar impactos en varias fases temporales del proyecto, por ejemplo, para las fases de construcción, explotación y abandono, y para describir los impactos asociados a varios ámbitos especiales, es decir, en el emplazamiento y en la región.

Muchos usos de la Matriz de Leopold han incluido la asignación de tres niveles de magnitud e importancia. Las interacciones principales deberían recibir las puntuaciones numéricas máximas, mientras que las interacciones de menor entidad se les asignan puntuaciones mínimas. Las interacciones de nivel intermedio reciben valores comprendidos entre las puntuaciones de las principales y menores.

La Tabla 7.7 presenta la Matriz de Leopold de identificación de factores ambientales y acciones impactantes de la planta de asfalto.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE MATRIZ DE EVALUACIÓN LEOPOLD NIVEL CUALITATIVO			FASE	CONSTRUCCIÓN					OPERACIÓN	ABANDONO	
			ACCIONES IMPACTANTES	a) Trazo, nivelación del terreno y acopio de material	b) Construcción de rampas y accesos	c) Obras de concreto (ductos para aguas de lluvia y pantalla)	e) Montaje de la Planta de Asfalto	e) Pruebas de Componentes, Tuberías, Tanques y Accesorios	a) Ocupación Especial del Área de Producción de Mezcla Asfáltica	b) Mantenimiento de Planta de Asfalto	a) Rehabilitación del Área
Marzo 2007		M = Magnitud I = Importancia									
FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS											
MEDIO FÍSICO	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	1.- AIRE	a) Calidad del aire (particulados)		•	•	•	•	•	•	
			b) Polvo y humos (gases)						•	•	
			c) Nivel de ruido				•	•	•		
		2.- SUELOS	a) Relieve y topografía	•	•						•
	b) Contaminación física, química		•			•	•	•	•		
	c) Capacidad agrológica			•	•					•	
	3.- AGUA	a) Aguas superficiales			•	•	•				
		4.- PROCESOS	a) Drenaje superficial		•	•				•	
	b) Compactación		•	•		•				•	
	CONDICIONES BIOLÓGICAS	1.- FLORA	a) Cubierta vegetal	•	•						•
b) Árboles, cultivos y cosechas			•	•						•	
2.- FAUNA		a) Diversidad de especies				•	•	•	•		
		b) Micro fauna		•		•	•	•	•		
MEDIO SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	FACTORES CULTURALES	1.- USOS DEL TERRENO	a) Minas y canteras		•				•		
		2.- ESTÉTICOS Y DE INTERÉS HUMANO	a) Ecosistemas especiales	•					•	•	
			b) Paisajes	•	•	•			•		
	3.- SERVICIOS E INFRAESTRUCTURA	a) Redes de transporte	•	•							
		b) Disposición de residuos						•	•		
		1.- OCUPACIÓN	a) Empleo de mano de obra						•	•	
	POBLACIÓN	2.- CONDICIONES DE VIDA	a) Estilos de vida						•	•	
			b) Salud y seguridad						•	•	
c) Calidad de vida								•	•		

Tabla 7.7 Matriz de Leopold de identificación de factores ambientales y acciones impactantes de la planta de asfalto

La Tabla 7.8 presenta a la matriz de Leopold de interacción causa- efecto de la planta de asfalto.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE MATRIZ DE EVALUACIÓN LEOPOLD NIVEL CUALITATIVO			FASE		CONSTRUCCIÓN					OPERACION		ABANDONO	SUMATORIA		
			ACCIONES IMPACTANTES	M	I	a) Trazo y nivelación del terreno	b) Construcción de rampas y accesos	c) Obras de concreto (duct. aguas de lluvia y pantalla)	e) Montaje general de la Planta de Asfalto	e) Pruebas de Componentes, Tuberias y Tanques	a) Degradación del área de producción de mezcla asfáltica	b) Mantenimiento de Planta de Asfalto			
MEDIO FÍSICO	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	1.- AIRE				a) Calidad del aire (particulados)		-1 +1	-1 +1	-1 +1	-4 +4	-6 +6	-6 +6	-1 +1	+0 +0
			b) Polvo y humos (gases)					-8 +8	-6 +6	+0 +0	+0	-14	+14		
			c) Nivel de ruido				-1 +1	-1 +1	-4 +4	+0 +0	+0	-6	+6		
		2.- SUELOS	a) Relieve y topografía	-1 +1	-1 +1				-1 +1	-1 +1	-1 +1	+0 +0	+0	-3	+3
			b) Contaminación física, química	-1 +1			-1 +1	-1 +1	-4 +4	-4 +4	-1 +1	+0 +0	+0	-12	+12
			c) Capacidad agrológica		-1 +1	-1 +1					-1 +1	+0 +0	+0	-3	+3
	3.- AGUA	a) Aguas superficiales			-1 +1	-1 +1	-1 +1	-1 +1			+0 +0	+0	-3	+3	
		4.- PROCESOS	a) Drenaje superficial		-1 +1	-1 +1		-1 +1		-1 +1	+0 +0	+0	-4	+4	
			b) Compactación	-2 +2	-1 +1			-2 +2			-2 +2	+0 +0	+0	-7	+7
	CONDICIONES BIOLÓGICAS	1.- FLORA	a) Cubierta vegetal	-1 +1	-1 +1						-1 +1	+0 +0	+0	-3	+3
			b) Árboles, cultivos y cosechas	-2 +2	-2 +2						-1 +1	+0 +0	+0	-5	+5
		2.- FAUNA	a) Diversidad de especies				-1 +1	-1 +1	-2 +2	-2 +2	+0 +0	+0	+0	-6	+6
b) Micro fauna				-1 +1			-1 +1	-2 +2	-2 +2	+0 +0	+0	+0	-7	+7	
MEDIO SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	FACTORES CULTURALES	1.- USOS DEL TERRENO	a) Minas y canteras		-4 +4				-6 +6			+0 +0	+0	-10	+10
		2.- ESTÉTICOS Y DE INTERÉS HUMANO	a) Ecosistemas especiales	-1 +1					-2 +2		-1 +1	+0 +0	+0	-4	+4
			b) Paisajes	-2 +2	-2 +2	-4 +4			-4 +4			+0 +0	+0	-12	+12
	3.- SERVICIOS E INFRAESTRUCTURA	a) Redes de transporte	-2 +2	-2 +2							+0 +0	+0	-4	+4	
		b) Disposición de residuos							-1 +1	-1 +1	+0 +0	+0	-2	+2	
		1.- OCUPACIÓN	a) Empleo de mano de obra						+6 +6	+6 +6	+12 +12	+12	+48	+0	+0
	2.- CONDICIONES DE VIDA	a) Estilos de vida							+6 +6	+6 +6	+12 +12	+12	+0	+0	
		b) Salud y seguridad							+6 +6	+6 +6	+12 +12	+12	+0	+0	
		c) Calidad de vida							+6 +6	+6 +6	+12 +12	+12	+0	+0	
ACCIONES IMPACTANTES	POSITIVAS		+0 +0	+0 +0	+0 +0	+0 +0	+0 +0	+0 +0	+24 +24	+24 +24		TOTAL	+48	+48	
	NEGATIVAS		-12 +12	-17 +17	-8 +8	-8 +8	-10 +10	+10	-39 +39	-22 +22	-9 +9		TOTAL	-125	+125
								+55	-61	+81	-9 +9				

Tabla 7.8 Matriz de Leopold de interacción causa- efecto de la planta de asfalto

La Tabla 7.9 presenta la caracterización de efectos de los factores ambientales con mayores impactos positivos.

FACTORES AMBIENTALES CON MAYORES IMPACTOS POSITIVOS					
MEDIO	SUB MEDIO	COMPONENTE	PARÁMETRO	MAGNITUD	INTENSIDAD
SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	POBLACIÓN	OCUPACIÓN	EMPLEO DE MANO DE OBRA	+6	+6
SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	POBLACIÓN	CONDICIONES DE VIDA	ESTILOS DE VIDA	+6	+6
SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	POBLACIÓN	CONDICIONES DE VIDA	SALUD Y SEGURIDAD	+6	+6
SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	POBLACIÓN	CONDICIONES DE VIDA	CALIDAD DE VIDA	+6	+6

Tabla 7.9 Caracterización de efectos de los factores ambientales con mayores impactos positivos

La Tabla 7.10 presenta la caracterización de los efectos del factor ambiental con mayor impacto negativo.

FACTOR AMBIENTAL CON MAYOR IMPACTO NEGATIVO					
MEDIO	SUB MEDIO	COMPONENTE	PARÁMETRO	MAGNITUD	INTENSIDAD
FÍSICO	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	AIRE	CALIDAD DEL AIRE (PARTICULADOS)	-20	-20

Tabla 7.10 Caracterización de efectos del factor ambiental con mayor impacto negativo

La Tabla 7.11 presenta la caracterización de efectos de las acciones ambientales con mayores impactos positivos.

ACCIONES AMBIENTALES CON MAYORES IMPACTOS POSITIVOS			
FASE	ACCION	VALOR	INTENSIDAD
OPERACIÓN	OCUPACIÓN ESPACIAL DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA	+24	+24
OPERACIÓN	MANTENIMIENTO DE PLANTA DE ASFALTO	+24	+24

Tabla 7.11 Caracterización de efectos de las acciones ambientales con mayores impactos positivos

La Tabla 7.12 presenta la caracterización de los efectos de las acciones ambientales con mayor impacto negativo.

ACCIÓN AMBIENTAL CON MAYOR IMPACTO NEGATIVOS			
FASE	ACCION	VALOR	INTENSIDAD
OPERACIÓN	OCUPACIÓN ESPACIAL DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA	-39	+39

Tabla 7.12 Caracterización de efectos de la acciones ambiental con mayor impacto negativo

7.6 Mitigación del impacto ambiental aplicando tecnología del baghouse o cámara de filtros

7.6.1 Justificación

Una razón por la cual las cámaras de filtros se han convertido en la opción preferida como sistema de limpieza en la industria de las mezclas asfálticas en caliente es que, además de cumplir con los códigos de contaminación, también proporcionan ventajas económicas sobre los lavadores de húmedos. Al devolver el polvo a la mezcla en vez de desperdiciarlo, como en el caso de los lavadores, las cámaras de filtros pueden utilizar mejor el agregado. Las cámaras de filtros también requieren menos potencia que los lavadores con sistema venturi. La flexibilidad de no depender de una fuente de agua y de una poza de decantación es otra ventaja significativa, debido a la reducción de los costos de acarreo en camiones y al aumento de la transportabilidad del equipo.

El control de emisiones PM-10 es otro reto que las cámaras de filtros están manejando eficazmente. PM-10 se refiere a aquellas partículas de menos de 10 micras de diámetro. Estas presentan una preocupación especial puesto que el sistema de respiración humano no las puede filtrar. Cuando se presentan grandes cantidades de PM-10 en los gases de escape que debe limpiar una cámara de filtros, se debe prestar atención especial para asegurar un rendimiento adecuado.

En la mayoría de los casos, las cámaras de filtros son el equipo preferido para el control de emisiones de partículas de las plantas de mezcla de asfalto en caliente

Las cámaras de filtros no son la única solución para el problema de las emisiones de partículas, pero son generalmente más económicas y operacionalmente más fáciles de manejar que otras opciones. Sin embargo, para utilizar las cámaras de filtros de la forma más eficaz posible, los operadores necesitan conocer sus atributos específicos y cómo usar dichos atributos para aprovecharlos al máximo.

7.6.2 El proceso

Los agregados usados para producir la mezcla de asfalto en caliente contienen material de granulometría variable. El tamaño de las partículas varía de 38 mm a menos de un micrón, una relación de 38,000 a uno. Algunas de las partículas más finas quedan en suspensión en el aire durante el proceso de secado y son recolectadas en distintos tipos de sistemas de recolección utilizados en las plantas de asfalto. A mediados de la década

de los años 1,970, cuando los requisitos sobre contaminación ambiental se pusieron más rigurosos, los colectores de polvos con filtros de tela en seco se convirtieron en el principal sistema utilizado en las plantas de asfalto. Las partículas finas de polvo recolectadas en estos sistemas son comúnmente conocidas como finos de la cámara de filtros. Los finos de la cámara de filtros no son ingredientes extraños usados en la mezcla, sino simplemente una fracción más fina de los agregados que están siendo elaborados. En la década pasada se realizaron numerosos estudios acerca de los finos de la cámara de filtros. Muchos de esos estudios condujeron a conclusiones erróneas porque muchos de los científicos comenzaron sus investigaciones estudiando los finos de la cámara de filtros específicos y no el proceso completo. El tamaño de las partículas recolectadas en la cámara de filtros es determinado por tres factores:

- La granulometría real del material original que se está procesando.
- La secuencia de los colectores usados para recolectar el polvo antes de que llegue a la cámara de filtros.
- La cantidad de degradación del material a lo largo del proceso.

La Figura 7.6 muestra las velocidades terminales de los diversos tamaños de partículas. Tal como se muestra en la indicada figura, a una velocidad del gas de 305 metros por minuto (1,000 pies por minuto), las partículas de tamaño de la malla N° 24 y más pequeñas pueden ser recogidas en la corriente del gas. Pero las partículas de un tamaño dado no siempre quedarán en suspensión en el aire.

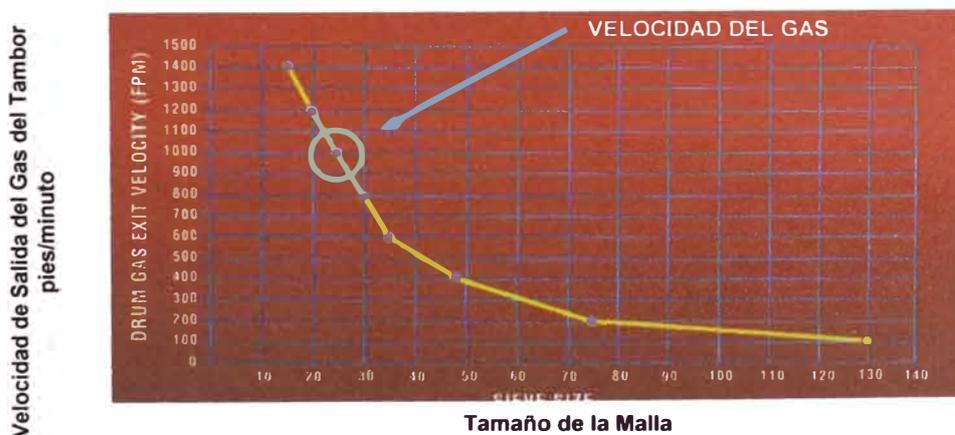


Figura 7.6 Velocidad de transporte de distintos tamaños de partículas

De hecho, no más de un 25% a 50% de las partículas más pequeñas que la malla N° 200 realmente serán recogidas. La razón de esto es que la electricidad estática u otra adhesión superficial hace que las partículas finas de polvo se adhieran a partículas mucho más grandes.

Normalmente, una cámara de filtros con un colector de polvos primario, tal como un ciclón, aceptará aproximadamente 1% a 1.5% del agregado total alimentado al tambor. Los altos porcentajes de partículas más pequeñas que 3.17 mm pueden producir proporciones de recolección de 1.5% a 3 %. Cuando no hay instalado un ciclón antes de la cámara de filtros, se puede recolectar en ella hasta un 5% del agregado total. Durante la última década, se han instalado controles de corriente de aire en las plantas como se

muestra en la Figura 7.7 para lograr un rendimiento energético mejor. Estos sistemas detectan la aspiración en la parte anterior del tambor, adyacente al quemador. Los controles abren o cierran el registro en el ventilador aspirante para mantener una presión ligeramente negativa o aspiración en el quemador. Los controles modulan la corriente de aire a través del tambor para producir el chorro de gas necesario para una proporción de producción determinada.

Las velocidades del gas de 244 a 305 metros por minuto antes mencionadas son típicamente las velocidades máximas para las que fueron diseñadas las plantas. Pero muy pocas funcionan a estos niveles más del 10% del tiempo, CMI CORPORATION ofrece un equipo con velocidades de hasta 427 metros por minuto.

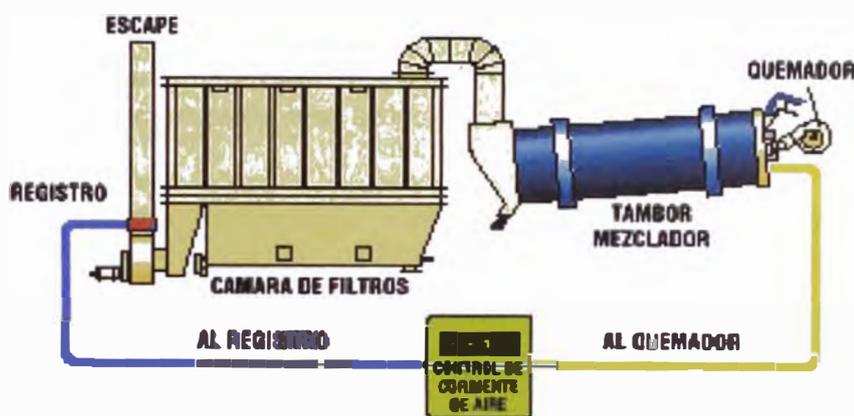


Figura 7.7 Sistema de control de corriente de aire

7.6.3 Equipo de recolección de polvos

El gas con gran porcentaje de polvo es extraído del tambor y pasa por una variedad de colectores para extraer las partículas de polvo. El operador de la instalación escoge el tamaño de partículas de polvo que se va a extraer, ya sea para satisfacer sus requerimientos o para cumplir con las especificaciones. El tamaño de las partículas de polvo que sale del tambor varía desde la malla 30 (a 244 metros por minuto) hasta menos de un micrón. Para hacer una comparación, el cabello humano mide aproximadamente 100 micrones de diámetro; el material de la malla N° 200 es de 75 micrones; y el humo de cigarrillo es de 0,3 micrón.

La Figura 7.8 muestra un colector de polvos con ciclón de baja presión. Comúnmente se usa como un secador de agregados. También se usa con un tambor secador mezclador de contraflujo. Algunas veces se usa en un mezclador Drum Mix Coater. Estos equipos son muy eficientes para extraer las partículas más grandes como se muestra en la indicada figura. Pero su eficiencia desciende considerablemente cuando se trata de tamaños de partículas inferiores a 30 micrones o malla N° 400.

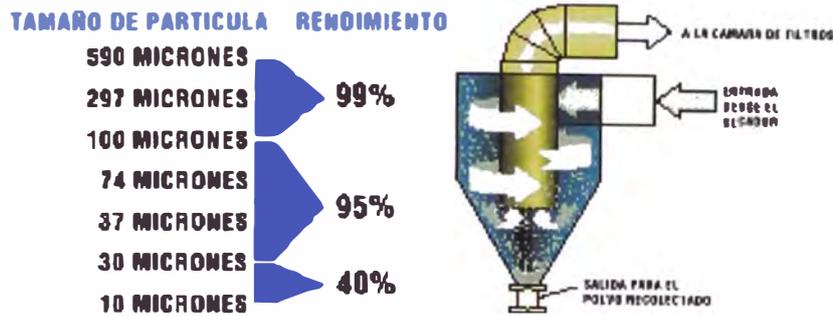


Figura 7.8 *Colector de polvo de ciclón único*

La Figura 7.9 muestra un colector de polvos de conos múltiples. Tiene una serie de ciclones pequeños. Su rendimiento o eficiencia es mayor que el ciclón único descrito anteriormente. Asimismo muestra la eficiencia o rendimiento típico de este tipo de colector. Tal como se muestra, este colector recolecta partículas mucho más pequeñas que un ciclón único.

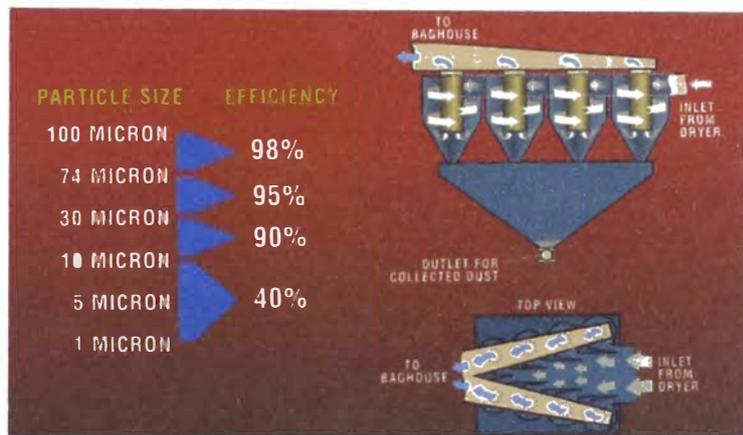


Figura 7.9 *Colector de conos múltiples*

La Figura 7.10 muestra un ciclón con atomizadores de agua. Comúnmente se conoce como un lavador húmedo y funciona con energía o presión baja. El agua es inyectada al ciclón y atomizada en pequeñas gotas de 80 micrones. Como resultado extrae las partículas pequeñas con mayor eficiencia que los colectores únicos y los de conos múltiples. Asimismo se presenta su respectiva eficiencia.

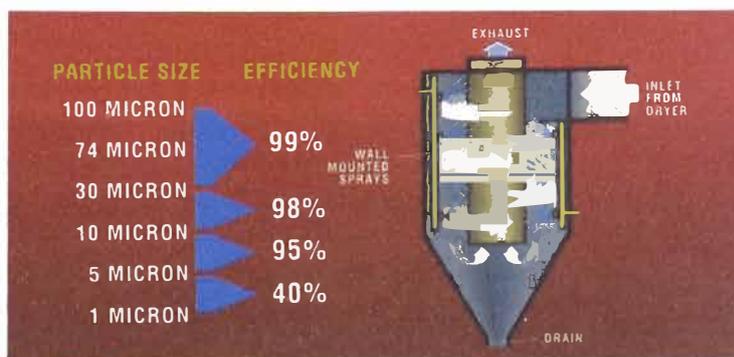


Figura 7.10 *Lavador húmedo*

Es posible usar lavadores tipo venturi de presión más alta para recolectar partículas aun más finas que aquéllas recolectadas por el lavador ciclónico de baja presión. Pero necesitan una potencia considerable para superar sus altas caídas de presión. Cuando se usa un colector de cámara de filtros o baghouse como se muestra en la Figura 7.11, el polvo es recolectado en las superficies exteriores de los filtros de bolsa.

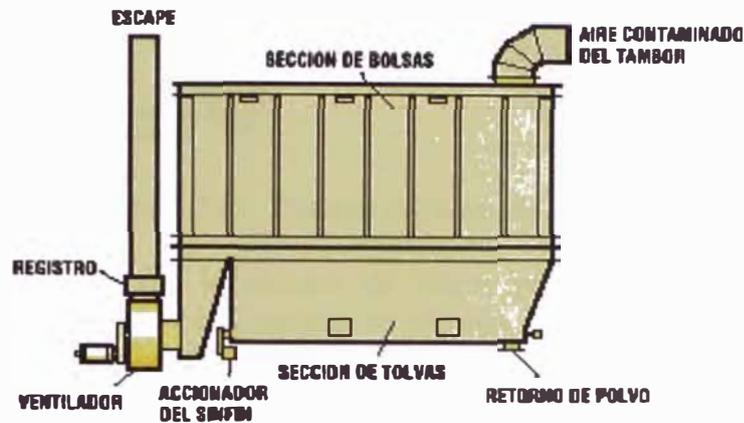


Figura 7.11 Colector de filtros o baghouse de tela de la cámara de filtros

Las bolsas se limpian automáticamente en intervalos regulares por aire a presión, como se ilustra en la Figura 7.12.

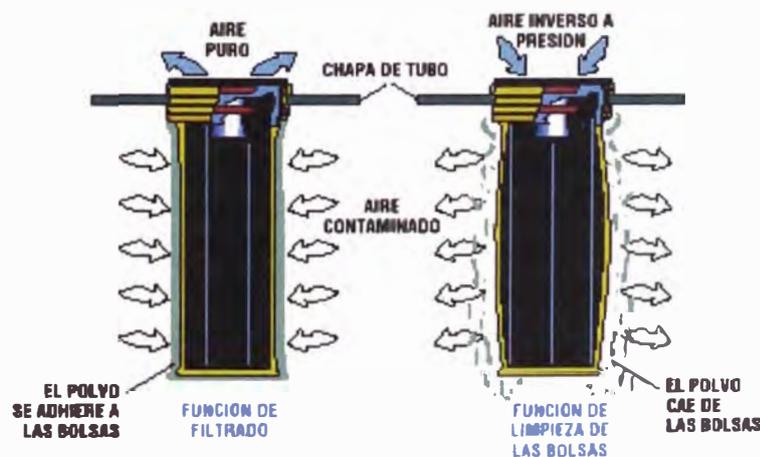


Figura 7.12 Limpieza de las bolsas

Normalmente, las bolsas están construidas de fibras Nomex que están enfieltradas en un tamiz. Luego, el fieltro es convertido en una bolsa tipo media. Cada bolsa va encajada en una jaula de alambre para soporte. Las bolsas y las jaulas encajan en una chapa de tubo que forma la pared superior de la cámara de filtros.

Las cámaras de filtros se construyen ya sea para que usen aire inverso o bien chorros pulsatorios para limpiar los filtros de bolsa. En la Figura 7.13 se muestra una cámara de filtros construida para usar aire inverso.

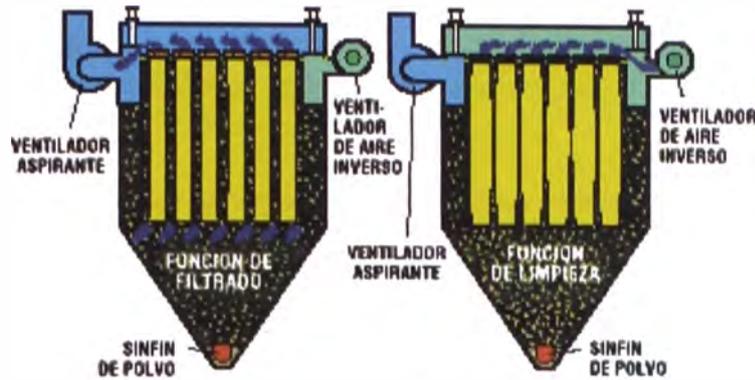


Figura 7.13 Cámara de filtros de aire inverso

En la Figura 7.14 muestra la cámara de filtros para usar chorros pulsatorios. En cualquiera de los dos casos la limpieza se efectúa introduciendo aire a presión a las bolsas lo que las hace expandirse y aflojar el polvo endurecido en sus superficies exteriores. El chorro pulsatorio usa ráfagas a alta presión, que sacuden las bolsas, haciéndolas agitarse como asimismo expandirse.

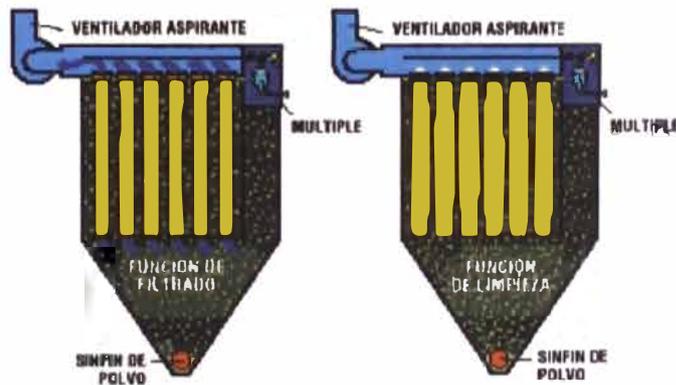


Figura 7.14 Cámara de filtros tipo chorro pulsatorio

La Figura 7.15 muestra un tipo nuevo de cámara de filtros o baghouse, desarrollado a comienzos de la década de los años 1,990. Tiene incorporado un ciclón horizontal. Este ciclón va montado en la misma plataforma que la cámara de filtros. Esta es una ventaja sobre el ciclón vertical, el cual necesita cimientos separados. El ciclón horizontal se conecta directamente a la cámara de filtros.

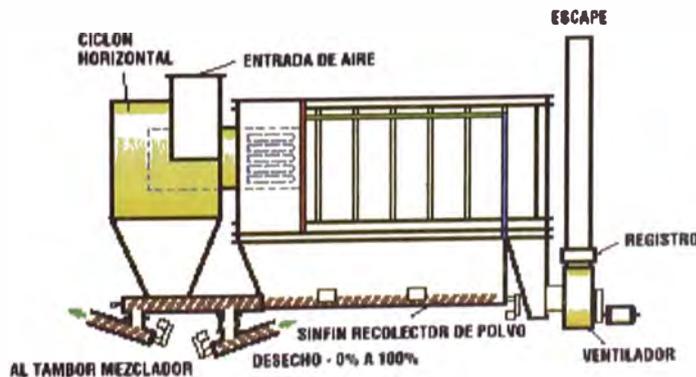


Figura 7.15 Cámara de filtros o baghouse con ciclón horizontal

El ciclón horizontal recolecta las partículas más grandes que la malla N° 200 y las envía de regreso al mezclador, manteniéndolas fuera de la cámara de filtros. Gracias a esto, la cámara de filtros puede recolectar más eficientemente las partículas más pequeñas de polvo y prolongar la duración de sus componentes.

Los finos con partículas más gruesas son controlados independientemente de los finos con partículas más pequeñas. Los finos de partículas gruesas provenientes del ciclón caen a una tolva recolectora en el fondo del ciclón. El sinfín helicoidal, que se extiende desde la cámara de filtros, transporta los finos a una esclusa de aire giratoria de velocidad constante. Después de pasar por la esclusa, son recogidas por un transportador sinfín inclinado. El transportador devuelve los finos a la carcasa exterior del secador mezclador. Existe una pequeña diferencia entre la presión del aire en la carcasa exterior y la presión del aire en la esclusa de aire giratoria. Por consiguiente, los finos de partículas gruesas son mucho menos abrasivos y la esclusa dura mucho más tiempo.

La capacidad de controlar independientemente las partículas más pequeñas de la malla N° 200 proporciona una flexibilidad significativa. Estos finos caen a la tolva recolectora de la cámara de filtros. Son extraídos de allí por el sinfín helicoidal.

El sinfín extrae los finos del extremo de la tolva. Desde allí se pueden desechar, almacenar o bien devolver al mezclador. Si una porción (0% a 100%) de estos finos es desechada, son transportados por otro transportador sinfín a un camión o punto de recolección para desecharlos. Las porciones no desechadas son devueltas al mezclador junto con los finos del ciclón. Se puede usar un silo para almacenar los finos en vez de desecharlos.

7.6.4 *Sistemas de recolección de polvos del secador*

Por tanto, se debe tener bien claro que el tamaño de las partículas de polvo recolectadas en una cámara de filtros variará de acuerdo con el tipo de equipo de recolección utilizado.

La Figura 7.16 muestra una cámara de filtros como el único colector de polvos para un secador. Tal como se usa actualmente, tendría que recibir partículas con tamaños variando entre la malla N° 30 y 0,3 de micrón.

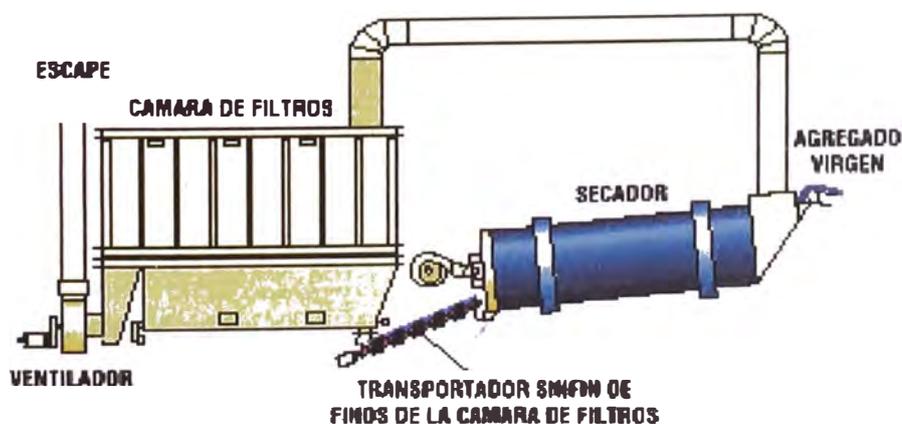


Figura 7.16 *Secador con cámara de filtros o baghouse*

La Tabla 7.13 presenta tamaños comunes de malla y tamaños equivalentes en micrones.

TAMAÑO DE LA MALLA	MICRONES
30	590
50	297
100	149
200	74
400	37
1,250	10
2,500	5
12,500	1

Tabla 7.13 *Tamaño de polvo de la cámara de filtros sin colector primario de polvo*

La Figura 7.17 muestra la cámara de filtros con un colector de polvos de ciclón único incorporado entre ella y el secador. El ciclón deja caer la mayoría de los tamaños de partículas de la malla N° 200 y más grandes. Por lo tanto, prácticamente todo el polvo que llega a la cámara de filtros sería más pequeño que la malla N° 200.

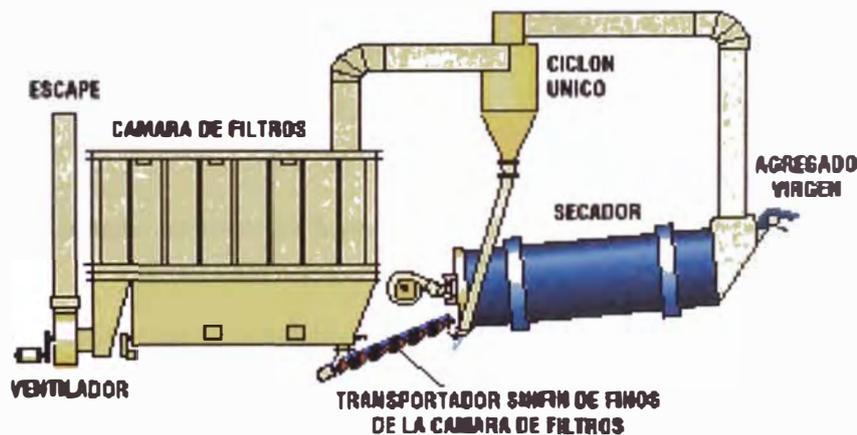


Figura 7.17 *Secador con ciclón único y baghouse o cámara de filtros*

Un gran porcentaje sería más pequeño que la malla N° 400 según lo muestra la Tabla 7.14.

TAMAÑO DE LA MALLA	MICRONES
400	37
1,250	10
2,500	5
12,500	1

Tabla 7.14 *Tamaño de polvo de la cámara de filtros con colector de polvo de ciclón único*

La Figura 7.18 muestra la cámara de filtros con un ciclón de conos múltiples entre ella y el secador. El ciclón de conos múltiples deja caer la mayoría de los tamaños de

partículas de 20 micrones y más grandes. Por lo tanto, prácticamente todo el polvo que llega a la cámara de filtros sería más pequeño que 20 micrones.

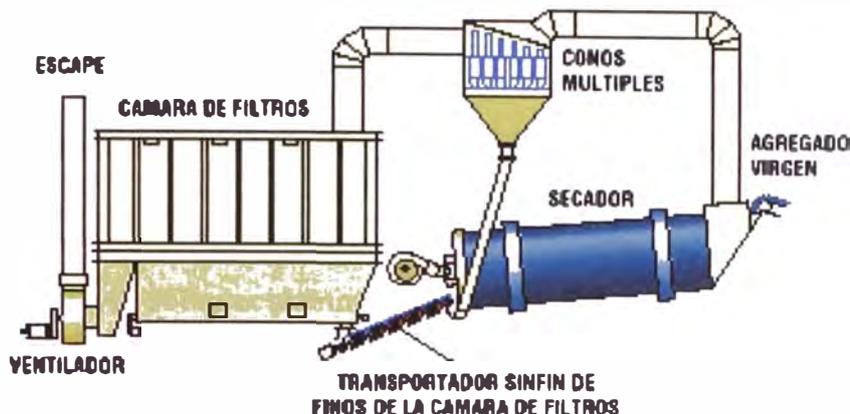


Figura 7.18 *Secador con colector de conos múltiples y baghouse o cámara de filtros*

La mayoría sería más pequeña que la malla N° 200 según lo muestra la Tabla 7.15.

TAMAÑO DE LA MALLA	MICRONES
1,250	10
2,500	5
12,500	1

Tabla 7.15 *Tamaño de polvo de la cámara de filtros con colector primario de conos múltiples*

La Figura 7.19 muestra un sistema sin una cámara de filtros o baghouse, corresponde a un ciclón único y un lavador húmedo entre el secador y un estanque. Este sistema se usó durante muchos años. El polvo superfino o muy pequeño era lavado hacia el estanque. La mayoría de la mezcla caliente producida en la instalación contenía solamente las partículas más grandes de polvo, principalmente aquéllas más grandes que la malla N° 200 según la Tabla 7.16.

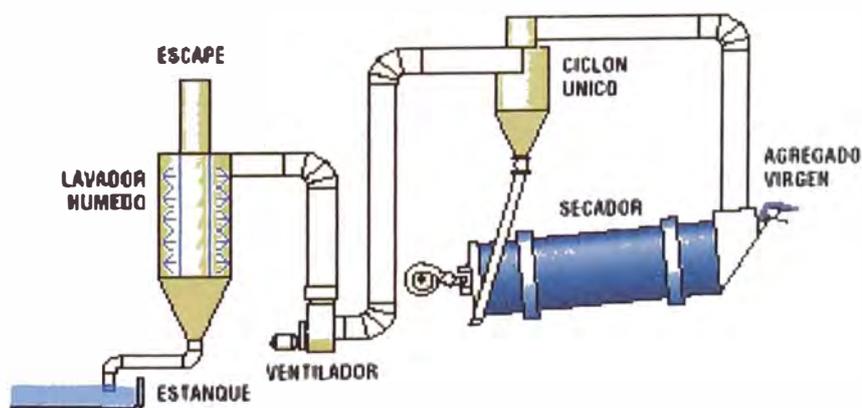


Figura 7.19 *Secador con ciclón y lavador húmedo*

La indicada Tabla 7.16 presenta el tamaño de polvo del ciclón único.

TAMAÑO DE LA MALLA	MICRONES
30	590
50	297
100	149
200	74

Tabla 7.16 Tamaño de polvo del ciclón único

Antes de que las leyes sobre contaminación del aire fueran modificadas, solamente una cantidad mínima de material más pequeño que la malla N° 200 era devuelta a la mezcla.

A comienzos de la década de los años 1,980, el Comité para el Mejoramiento de la Calidad de la NAPA condujo un estudio exhaustivo sobre el uso de finos de cámaras de filtros en la mezcla caliente para averiguar si eran perjudiciales o beneficiosos.

El estudio encontró que la adición a la mezcla de partículas de polvo más pequeñas que el espesor de la película de asfalto era beneficiosa. Mejoraba o extendía el asfalto, permitiendo el uso de menos asfalto líquido. Encontraron que dicho polvo, generalmente de un tamaño inferior a 15 micrones, podría prácticamente sustituir al asfalto. Pero usado en cantidades exageradas era perjudicial y aumentaría considerablemente la rigidez de la mezcla. De acuerdo con esto, recomendaron una relación específica de polvo a asfalto.

Recomendaron una relación por masa de 1 parte de polvo (hasta 1,2 partes de polvo) de tamaño más pequeño que 15 micrones a 1 parte de asfalto líquido. Los organismos especializados han adoptado esta relación de polvo a asfalto y ahora la incluyen en muchas especificaciones.

Se refieren en términos generales a un material más pequeño que la malla N° 200 sin designar su composición específica. Esto es un error. Más de 1 parte de polvo se puede usar satisfactoriamente, dependiendo de la composición del polvo más pequeño que la malla N° 200 (75 micrones). Pero si el polvo contiene porcentajes considerablemente más altos de partículas más pequeñas que 15 micrones, la relación de 1 a 1 es correcta.

La Figura 7.20 muestra una esclusa de aire giratoria. Esta esclusa descarga continuamente el polvo de un colector. Tiene paletas giratorias en una carcasa de ajuste preciso (como la puerta giratoria de un hotel).



Figura 7.20 *Esclusa de aire giratoria*

La Figura 7.21 muestra dos transportadores sinfín interconectados por una canaleta de descarga por gravedad. En este dispositivo el polvo impide el flujo inverso. Sin embargo, este dispositivo solamente es eficaz con los componentes donde la aspiración es baja (menos de 51 mm).

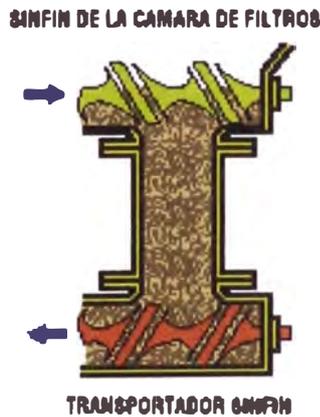


Figura 7.21 *Canaleta de descarga por gravedad*

La Figura 7.22 muestra una válvula inclinable por gravedad. Esta funciona como la entrada de puerta de dos hojas en un hotel u oficina. El peso del polvo abre automáticamente las válvulas dejando que el polvo fluya de una a la otra, abriéndola y cerrándola alternadamente.

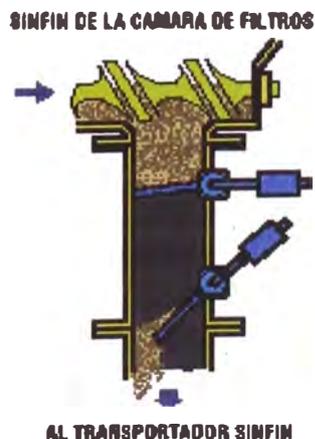


Figura 7.22 *Válvula inclinable por gravedad*

La Figura 7.23 muestra una válvula inclinable motorizada. Funciona igual que la válvula por gravedad con la excepción que cilindros neumáticos o bien una varilla accionada por motor abre y cierra automáticamente las compuertas en orden.

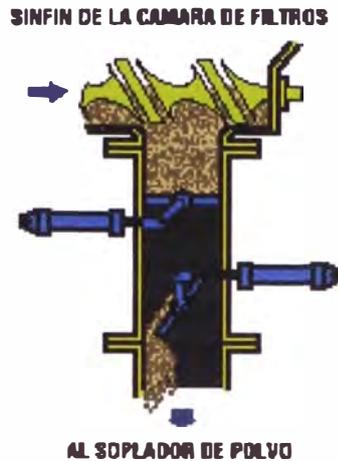


Figura 7.23 *Válvula inclinable neumática motorizada*

Todos estos dispositivos cumplen la función común de extraer continuamente el polvo del colector. La esclusa de aire giratoria o las válvulas inclinables motorizadas se usan generalmente cuando se devuelve el polvo a un sistema de retorno neumático continuo utilizando una aspiración más alta.

Como estos dispositivos se desgastan, la corriente de aire y la presión de aire negativas del sistema transportador pueden causar el escape de aire a través de ellos y su introducción al colector. Si el escape aumenta demasiado, el polvo se devuelve con el aire hasta que su volumen o peso sea suficiente para superar la corriente de aire. En este momento el polvo afluirá (acumulará), liberando un porción a la vez, causando la pérdida del flujo continuo y uniforme. Cuando esto ocurre, es necesario reparar o cambiar la esclusa de aire giratoria.

La Figura 7.24 muestra una esclusa de aire giratoria en el fondo de la cámara de filtros y un sistema soplador soplando polvo a la Tolva N° 1 en la planta dosificadora. Este dispositivo permite la alimentación continua del polvo que regresa de la cámara de filtros a las tolvas calientes de la planta dosificadora.

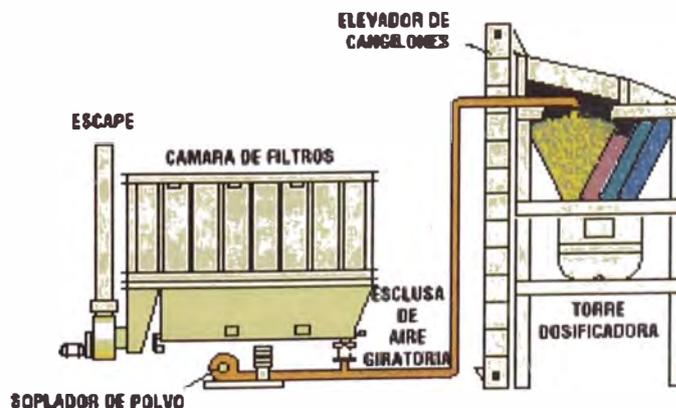


Figura 7.24 *Sistema de retorno de soplador de polvo*

La Figura 7.25 muestra un silo de polvo o tolva de almacenamiento montado en el costado de la torre de la planta dosificadora. El sistema soplador de polvo y una esclusa de aire giratoria transportan el polvo de la cámara de filtros al silo. El polvo es acarreado por el sinfín del fondo del silo de polvo a la tolva de pesaje en la planta dosificadora.

El sinfín arranca y para según sea necesario para añadir una cantidad determinada de polvo. El transporte por sinfín es más preciso que el pesaje de una cantidad pequeña de polvo en una tolva de pesaje grande que utiliza una balanza diseñada para cantidades grandes. El receptor de polvo deberá instalarse en el centro de la tolva para asegurar la distribución uniforme del polvo.

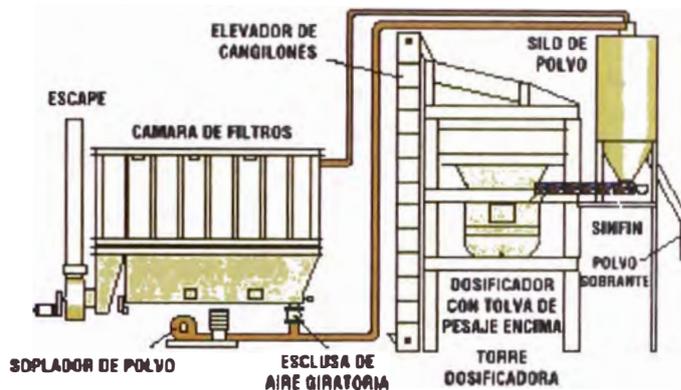


Figura 7.25 Soplador de polvo con silo de polvo

La Figura 7.26 muestra un sistema similar al que recién describimos. Pero, tiene un sistema neumático de fase densa que sopla el polvo del silo a la tolva de pesaje en la torre dosificadora.



Figura 7.26 Retorno de polvo de fase densa

La Figura 7.27 muestra un sistema similar al que se describe en la Figura 7.26. Sin embargo tiene células de carga en el dosificador de peso a presión neumática de fase densa.

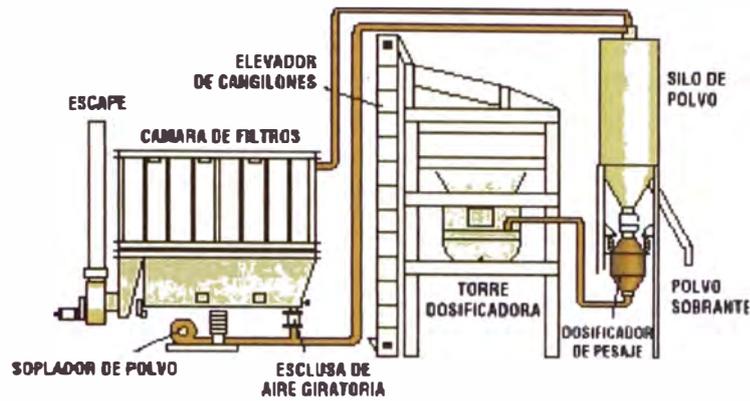


Figura 7.27 Retorno de fase densa con dosificador de pesaje

Esto permite el pesaje preciso y continuo de cada tanda de polvo antes de ser soplado a la tolva de pesaje en la torre dosificadora. Los silos de polvo que se muestra en las Figuras 7.25, 7.26 y 7.27 funcionan a presión atmosférica y no tienen la esclusa de aire giratoria en sus lados de descarga.

Sin embargo, el depósito o dosificador a presión en el sistema neumático de fase densa tiene una válvula de mariposa que se abre por gravedad para llenar los dosificadores. Esas válvulas requieren mantenimiento y cambio periódicos para asegurar el funcionamiento correcto. Ocasionalmente, las tandas o lotes se producen con porcentajes anormalmente altos de polvo en la mezcla. Desgraciadamente, la causa de este problema muy a menudo se analiza incorrectamente.

Como resultado, las especificaciones se escriben exigiendo equipo adicional que es innecesario y realmente puede incrementar el problema.

La Figura 7.28 muestra una torre dosificadora con un elevador de cangilones y un transportador sinfín de polvo. El transportador descarga el material muy fino al elevador de cangilones, el que a su vez lo deja caer en las cribas vibratorias en la parte superior de la torre. El material fino no se extiende sobre las cribas, sino cae directamente a través de ellas y se junta a lo largo de una pared de la primera tolva.

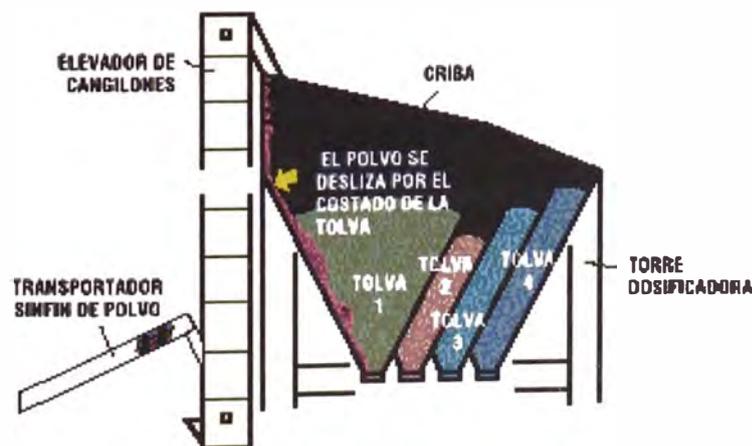


Figura 7.28 Deslizamiento de polvo

Permanece segregado del otro agregado en la tolva. Cuando se extrae el material de la tolva caliente para preparar la mezcla caliente, frecuentemente una gran concentración de polvo se desprenderá en una porción. Esto causa lo que comúnmente se conoce como un deslizamiento de polvo. Esto produce una tanda de mezcla seca insatisfactoria.

Este problema se puede solucionar usando una bandeja portadora debajo de las cribas de modo que el polvo sea acarreado al centro de la tolva. Allí se mezcla uniformemente en la tolva con todo el otro agregado, como se muestra en la Figura 7.29.

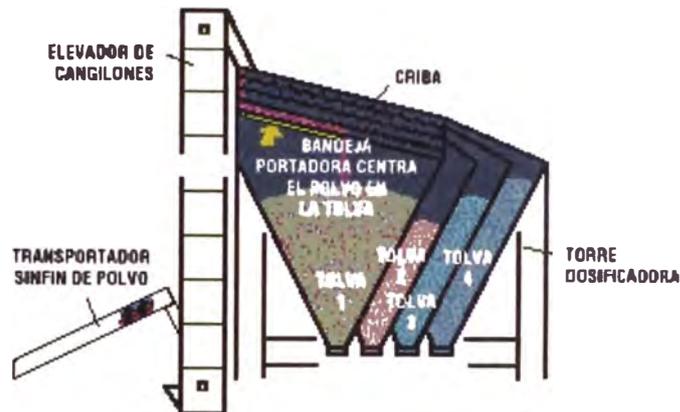


Figura 7.29 Bandeja de polvo

El problema también se puede resolver como se muestra en la Figura 7.24. Aquí el soplador de polvo lo sopla continuamente hacia el centro de la primera tolva. Así, el polvo es distribuido uniformemente en la tolva y mezclado con el otro agregado.

Los métodos que se muestran en las Figuras 7.25, 7.26 y 7.27 funcionan adecuadamente para asegurar el retorno uniforme del polvo. Pero estos sistemas solamente se deben usar cuando se coloca un colector de polvos con ciclón antes de la cámara de filtros. Igualmente, el sistema soplador de polvo que se muestra en la Figura 7.24 debe tener un ciclón antes de la cámara de filtros.

Estos sistemas funcionan muy bien con material de partículas más pequeñas que la malla N° 200. Pero necesitan mucho mantenimiento y son muy caros de manejar cuando se recolectan y transportan partículas grandes. Sin un ciclón, las partículas grandes necesitan velocidades más altas de aire para transportarlas.

Las velocidades más altas de aire necesitan presión más alta de aire y una mayor diferencia de presión en las esclusas de aire giratorias. Esto aumenta considerablemente el desgaste y reduce en gran medida la duración de las esclusas de aire. Con el material abrasivo, las esclusas pueden desgastarse después de tan sólo 5,000 toneladas. Cuando se usa un ciclón en condiciones similares, las esclusas de aire pueden durar hasta 500,000 toneladas.

Muchas especificaciones exigen el uso de un silo de compensación de polvo. Tales especificaciones a menudo establecen que “se debe usar un silo de compensación para asegurar el retorno uniforme del polvo a la mezcla”. Desgraciadamente, no se puede saber cuánto polvo se está extrayendo. En ese caso, no se sabe qué cantidad devolver.

Por lo tanto, un silo de compensación solamente da la oportunidad de crear un montón de polvo. Primero, hay que analizar debidamente el problema. En seguida, se debe usar una de las discusiones antes descritas, según corresponda. Si se puede eliminar el uso de un silo de compensación, es posible obtener una mezcla más uniforme. Dependiendo del equipo de recolección utilizado y de su mantenimiento, la acumulación del polvo puede ocurrir en los siguientes lugares en una planta dosificadora:

- En la primera tolva de la torre (como se describe anteriormente) cuando se devuelve el polvo del ciclón o de la cámara de filtros al elevador caliente.
- Del ciclón primario o descarga de conos múltiples cuando las válvulas inclinables se pegan o cuando el desgaste de la esclusa de aire giratoria es demasiado pronunciado. Los montones de polvo se acumulan y son posteriormente descargados.
- De la cámara de filtros cuando el desgaste de la esclusa de aire giratoria aumenta demasiado. Los montones de polvo se acumulan y después son descargados.

Cuando el ciclo de limpieza de la cámara de filtros limpia las bolsas en una secuencia que causa un montón de polvo en el sinfín de la tolva Figura 7.30. Este fenómeno se describe a continuación.



Figura 7.30 Acopio de polvo en la cámara de filtros o baghouse

7.6.5 Sistemas de retorno de polvos de plantas mezcladoras continuas

Básicamente, los sistemas de aire para las plantas mezcladoras continuas y aquéllos para las plantas dosificadoras funcionan de la misma manera. La cantidad de porcentaje de polvo puede variar, según si se usa un secador mezclador convencional, un mezclador Drum Mix Coater, un mezclador de contraflujo o un mezclador tipo Double Barrel. Pero, independiente del método de secado, el polvo debe ser devuelto uniformemente a la mezcla.

Es menos probable que se produzcan acumulaciones de polvo en las plantas mezcladoras continuas que en las plantas dosificadoras o batch plants. Esto se debe a que las plantas continuas no tienen las tolvas calientes que pueden causar los montones de polvo en el agregado seco. Los montones que se forman en las plantas continuas son a menudo analizados incorrectamente.

Los montones de polvo en las plantas continuas pueden ser el resultado de la limpieza automática de las bolsas en la cámara de filtros. El problema puede ocurrir en cualquier tipo de planta que utiliza una cámara de filtros con un ciclo de limpieza automática. Pero más frecuentemente, los montones se forman en alguna otra parte del sistema de polvo.

Los montones de polvo resultantes de la limpieza de las bolsas son causados cuando pilas pequeñas de polvo de una hilera de bolsas caen directamente a las pilas de polvo de otra hilera de bolsas mientras el sinfín las traslada a lo largo de la parte inferior de la tolva Figura 7.30. Estos montones no son comunes. Pero cuando ocurren producen un montón de polvo en el mezclador, dando por resultado una mezcla irregular.

Una manera de solucionar este problema es cambiar el ciclo de limpieza en la cámara de filtros. Al incrementar el número de pasos en el temporizador del ciclo de limpieza se logra que caiga menos cantidad de polvo en cada paso de limpieza. Esto produce un flujo más uniforme y reduce la probabilidad de que se produzcan montones.

Otra solución es reconfigurar la cámara de filtros. Cambiar el sistema de modo que las hileras que se están limpiando estén paralelas al sinfín recolector de polvo en vez de estar transversales a él. Esto prácticamente elimina la posibilidad de montones de polvo provenientes de la cámara de filtros.

7.6.6 *Sistemas de retorno de polvos de plantas mezcladoras continuas utilizando tambores mezcladores convencionales*

La Figura 7.31 muestra un tambor mezclador convencional utilizando una cámara filtros. Muestra un sistema soplador de polvo comúnmente usado para devolver el polvo al tambor. Cuando el polvo llega al tambor se introduce a un receptor que emplea un cono de choque. El asfalto líquido también es alimentado al receptor y se mezcla con el polvo cuando cae al mezclador. Impide que el polvo sea captado nuevamente por la corriente de aire. De lo contrario, el polvo volvería a entrar a la corriente de aire y se acumularía hasta el punto de formar cúmulos.



Figura 7.31 *Sistema de retorno de polvo del tambor mezclador*

TESIS "PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"

Los operadores deberán mantener cuidadosamente el receptor de polvo para asegurarse que funcione adecuadamente con el fin de impedir la recirculación del polvo.

Una planta mezcladora continua con un secador mezclador convencional puede tener montones de polvo igual que una planta dosificadora. Los montones pueden formarse de la manera siguiente:

- En el ciclón primario o descarga de conos múltiples. Cuando su válvula inclinable se pega o cuando el desgaste de su esclusa de aire giratoria aumenta demasiado, se pueden acumular montones de polvo y desprenderse en distintos intervalos.
- En la cámara de filtros. Cuando el desgaste de su esclusa de aire aumenta demasiado, se pueden acumular montones de polvo y desprenderse en distintos intervalos.
- En el sinfín de la tolva de la cámara de filtros. El ciclo de limpieza automática de los filtros de bolsa puede causar un montón de polvo, como se describió previamente Figura 7.30.
- En el receptor de polvo en el mezclador. Cuando los agujeros en el receptor se desgastan, permiten la pasada de polvo antes de que se mezcle con el asfalto líquido. Por consiguiente, el polvo es captado por la corriente de aire, dando por resultado montones de polvo.

7.6.7 *Sistemas de retorno de polvos de plantas mezcladoras continuas utilizando tambores mezcladores de contraflujo*

El mezclador de contraflujo tiene una sección mezcladora en un extremo del tambor. Normalmente se usa un sinfín para transportar el polvo al interior de la sección mezcladora como se muestra en la Figura 7.32. Tal como sucede con el mezclador Drum Mix Coater, el polvo no se reintroduce a la corriente de aire. Por lo tanto, no vuelve a quedar en suspensión en el aire.

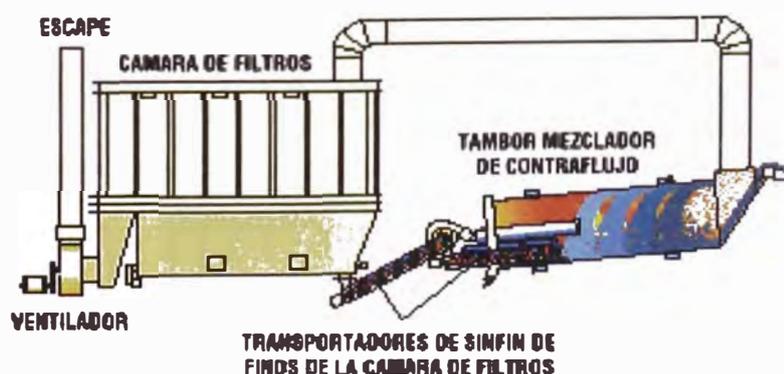


Figura 7.32 *Sistema de retorno de polvo del tambor mezclador de contraflujo*

Los tambores mezcladores de contraflujo y los mezcladores tipo Double Barrel son muy parecidos. En un mezclador tipo Double Barrel, el polvo recolectado por la cámara de filtros es simplemente transportado por sinfín a la sección mezcladora en la carcasa exterior. Tal como sucede con el mezclador de contraflujo, el polvo no regresa a la corriente de aire como lo muestra la Figura 7.33.

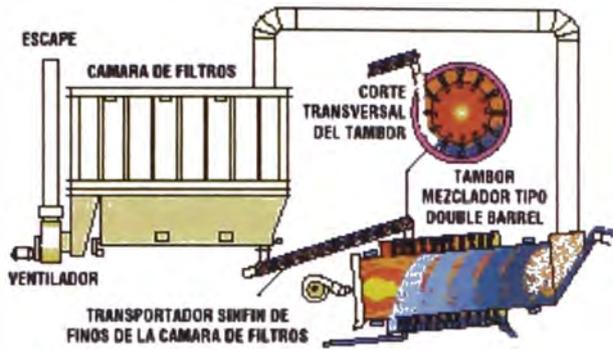


Figura 7.33 Retorno del polvo al tambor mezclador tipo Double Barrel

Las plantas que utilizan un mezclador de contraflujo o bien un mezclador tipo Double Barrel pueden tener montones de polvo debido a los problemas que se indican a continuación. Estos problemas son los mismos que aquellos ocurridos en otras plantas.

- En el ciclón primario o descarga de conos múltiples. Cuando su válvula inclinable se pega o cuando el desgaste de su esclusa de aire aumenta demasiado, se pueden acumular montones de polvo y desprenderse en distintos intervalos.
- En la cámara de filtros. Cuando el desgaste de su esclusa de aire aumenta demasiado, se pueden acumular montones de polvo y desprenderse en distintos intervalos.
- En el sinfín de la tolva de la cámara de filtros. El ciclo de limpieza automática de los filtros de bolsa puede causar aglomeración de polvo, como se describió previamente en la Figura 7.30.

No se recomienda la instalación de una tolva de control de flujo entre la cámara de filtros y el tambor como lo muestra la Figura 7.34. Complica más la planta y puede realmente causar montones de polvo. Cuando se instala una tolva de control de flujo o bien un silo de polvo, el operador no tiene manera de saber cuánta cantidad de polvo tiene que devolver en algún momento dado.

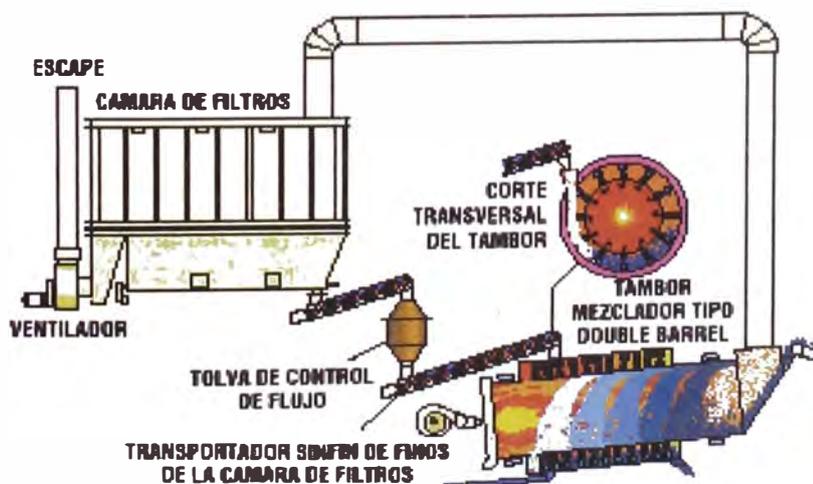


Figura 7.34 Tolva de control de flujo

Típicamente, el operador maneja el alimentador ubicado en el fondo de la tolva de control de flujo a máxima velocidad intentando extraer la misma cantidad de polvo de la tolva que la cantidad recibida. Debido a que el alimentador puede extraer el polvo de la tolva con más rapidez que la cantidad que entra a la tolva, no se produce acumulación de polvo en la tolva.

Por lo tanto, la tolva no cumple con su propósito. Si la cámara de filtros repentinamente reduce la cantidad de polvo que alimenta a la tolva, se producirá una deficiencia de polvo en la mezcla. De igual manera, si la cámara de filtros repentinamente aumenta la cantidad de polvo alimentada a la tolva, entonces se incorporará demasiado polvo a la mezcla.

Se puede utilizar un sistema de pesaje continuo para ayudar a superar el problema anterior con la tolva de control de flujo mostrado en la Figura 7.35. El sistema tiene un silo de polvo y dos dosificadores de pesaje, ambos instalados en células de carga. Un dosificador de pesaje va instalado encima del silo y el otro debajo del silo.

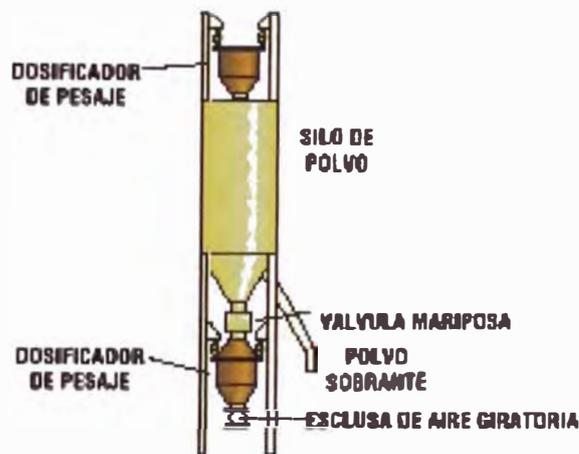


Figura 7.35 Sistema de pesaje continuo con tambor mezclador de contraflujo

Un dosificador pesa el polvo que entra al silo y el otro dosificador pesa el polvo que sale. El polvo del dosificador de pesaje inferior pasa por una esclusa de aire giratoria de velocidad variable a un transportador sinfín y de allí al mezclador.

Cuando la esclusa de aire giratoria extrae el polvo del dosificador, el sistema de control calcula la pérdida de peso del dosificador para determinar la cantidad de polvo devuelto a la mezcla. Si el nivel del silo baja, una válvula grande debajo del silo de polvo se abre para volver a llenar el dosificador.

Existe exceso de polvo cuando hay más polvo en el agregado que el especificado para la mezcla. Cuando se extrae el polvo sobrante, la planta debe funcionar a una sola proporción de producción. Esto permite que se transporte una proporción constante de partículas de polvo más pequeñas que la malla N° 200 a la mezcla mientras al mismo tiempo se desvía una proporción constante del silo para desecho.

El tratar de mantener con precisión un flujo constante de polvo es muy difícil o prácticamente imposible. Probablemente, lo mejor que podemos hacer es asegurarnos que haya una recolección continua de polvo y un retorno continuo de él sin montones. Hay que tomar en cuenta muchas cosas cuando el agregado tiene polvo sobrante de

partículas más pequeñas que malla la 200 y es necesario extraerlo. Esto se explica a continuación.

a) Extracción del polvo sobrante de las plantas dosificadoras

En las plantas dosificadoras se debe usar un colector de polvo con ciclón instalado antes de la cámara de filtros cuando es necesario extraer el polvo sobrante. El ciclón capta las partículas de polvo de tamaño de la malla N° 200 y más grandes y las devuelve a la mezcla. Esto asegura que solamente las partículas de tamaño más pequeño que la malla N° 200 se dirijan a la cámara de filtros. Sin un ciclón, las partículas de polvo de tamaños hasta la malla 30 serían incluidas con las partículas más pequeñas que se introducen a la cámara de filtros. Por lo tanto, cualquier exceso de polvo de la cámara de filtros desperdiciado incluiría esas partículas más grandes. Y eso dejaría a la mezcla con deficiencia de partículas de tamaño más grande que la malla N° 200.

Cuando el polvo de la cámara de filtros incluye solamente partículas más pequeñas que la malla N° 200, puede ser soplado al silo de polvo como se muestra en las Figuras 7.25, 7.26 y 7.27. Un poco del polvo del silo es pesado de vuelta a la mezcla. Cualquier exceso de polvo que se acumule en el silo es desechado a través de una canaleta de rebose como se muestra en las Figuras 7.25, 7.26 y 7.27.

El operador deberá recordar que el proceso de secado no hará que todas las partículas más pequeñas que la malla N° 200 queden en suspensión en el aire y entren al sistema de recolección de polvo. Hasta un 50% del polvo con partículas más pequeñas que la malla N° 200 se adherirá a las partículas más grandes de polvo y no quedará en suspensión en el aire. Los operadores deben hacer pruebas para determinar precisamente la cantidad real de partículas más pequeñas que la malla N° 200 que son captadas y devueltas del silo de compensación a la mezcla. Esta información es necesaria para saber qué cantidad de material con partículas más pequeñas que la malla N° 200 deberá devolverse al producto final para que cumpla con las especificaciones de la mezcla.

b) Extracción del polvo sobrante de las plantas mezcladoras continuas

Se debe usar un colector de polvo con ciclón instalado antes de la cámara de filtros en las plantas mezcladoras continuas cuando es necesario extraer el polvo sobrante. Esto es válido para las instalaciones con un secador mezclador, un mezclador Drum Mix Coater, un tambor mezclador de contraflujo o bien un mezclador tipo Double Barrel. Tal como sucede con las plantas dosificadoras, el polvo con partículas más pequeñas que la malla N° 200 puede ser soplado a una tolva de polvo.

Como se explicó anteriormente para las plantas dosificadoras o batch plants, el ciclón capta las partículas de polvo de tamaño de la malla N° 200 y más grandes y las devuelve a la mezcla. Esto asegura que solamente las partículas de tamaño más pequeño que la malla N° 200 se dirijan a la cámara de filtros. Sin un ciclón, las partículas de polvo de tamaños hasta la malla 30 serían incluidas con las partículas más pequeñas que se introducen a la cámara de filtros. Por lo tanto, cualquier exceso de polvo de la cámara de filtros desperdiciado incluiría esas partículas más grandes. Y eso dejaría a la mezcla con deficiencia de partículas de tamaño más grande que la malla N° 200.

Es mucho más difícil controlar el exceso de polvo en las instalaciones que usan un secador mezclador convencional que en otros tipos de instalaciones. Es difícil extraer un alto porcentaje de polvo con partículas más pequeñas que la malla N° 200 del tambor en el proceso de secado y de mezcla porque es recubierto de asfalto antes de poder extraerlo. Por lo tanto, gran parte del polvo de tamaño más pequeño que la malla N° 200 permanece en la mezcla.

La reducción de la distancia que la tubería de asfalto y la tubería de polvo se introducen en el tambor disminuye el tiempo de mezclado después de inyectar el asfalto y ayuda a extraer el polvo de tamaño más pequeño que la malla N° 200 como se mostró en la Figura 7.34.

El cambio de paletas también ayuda. La instalación de paletas mezcladoras inversas mostradas en la Figura 7.36 expone el polvo en suspensión en el aire a menos asfalto, manteniendo al mismo tiempo un mezclado adecuado. En los casos en que es necesario extraer un porcentaje muy alto de polvo, se puede sacar todas las paletas esparcidas del área de mezclado. Pero cuando se hace esto, se deberá instalar en su lugar paletas mezcladoras que no lancen en cascada el material.

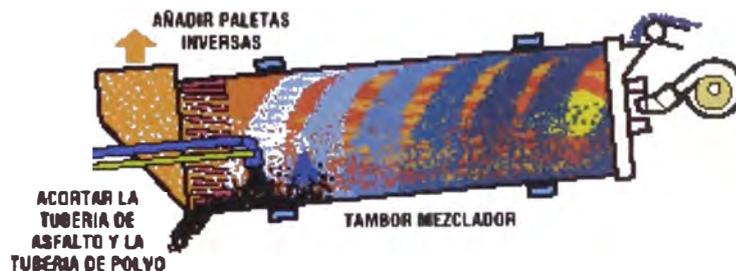


Figura 7.36 Introducción de polvo y asfalto al tambor mezclador

En una planta mezcladora continua frecuentemente es necesario conocer con precisión la cantidad de polvo recolectada en la cámara de filtros de modo que se pueda desechar una porción apropiada. Se puede usar el sistema de flujo continuo o másico que se muestra en la Figura 7.37 cuando se conoce la cantidad exacta que es necesario desechar. Se puede pesar continuamente y devolver volumétricamente al mezclador.

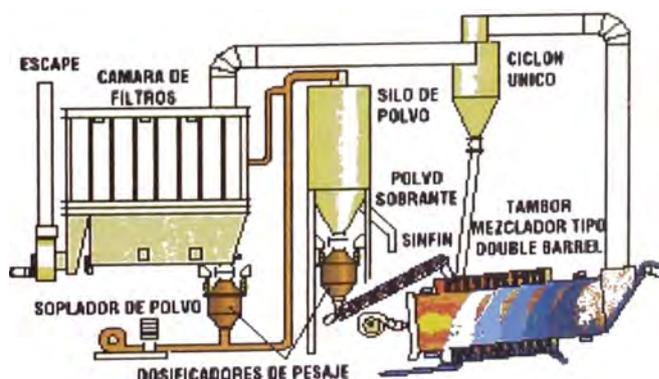


Figura 7.37 Sistema de pesaje continuo con tambor mezclador tipo Double Barrel

Digamos, por ejemplo, que el agregado que entra al mezclador tiene un 8% de polvo de partículas más pequeñas que malla N° 200 y que la mezcla necesita solamente un 6%.

El recolector primario con ciclón extrae las partículas más grandes que malla la 200 y las alimenta directamente de vuelta a la mezcla.

El material de partículas más pequeñas que la malla N° 200 es recolectado en la cámara de filtros mostrado en la Foto 7.38. Este es descargado al dosificador de pesaje ubicado debajo de la cámara de filtros donde se pesa. De allí es soplado neumáticamente al silo de polvo. El dosificador de pesaje ubicado debajo del silo de polvo pesa la cantidad de polvo que se está devolviendo a la mezcla. El sistema usa los pesos para enviar el 6% del polvo de vuelta a la mezcla y desecha el otro 2%.

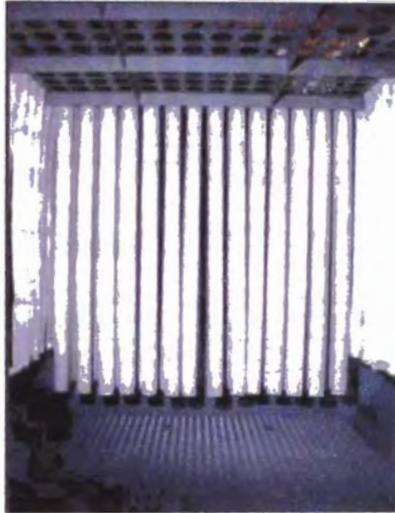


Foto 7.38 Interior de la cámara de filtros

c) Finos recubiertos y sin recubrir

Independiente a un sistema de retorno de polvo, la mezcla caliente puede tener concentraciones de finos recubiertos. Habitualmente ocurren después de la mezcla. La causa puede ser la segregación. O la causa puede ser una acumulación de finos en las canaletas del mezclador, ductos o transportadores.

También pueden ocurrir finos sin recubrir. Los volúmenes grandes de finos que regresan a la mezcla antes de que se aplique el asfalto pueden causar tandas de finos secos o sin recubrir. Esto se debe a que un volumen determinado de polvo fino tiene una superficie mucho más grande que el mismo volumen de polvo de granos gruesos. Por lo tanto, se necesita mucho más asfalto líquido para recubrir el mismo volumen de polvo fino. Podría no haber suficiente asfalto líquido para recubrir todas las partículas individuales.

d) Finos oxidados

El procesamiento de altos porcentajes de producto reciclado puede causar la acumulación de material en las paletas del tambor. Cuando esto ocurre, por lo general los finos se oxidan (coquifican).

Las soluciones para este tipo de problemas son complejas para lo cual se deberá contactar al fabricante del equipo para la correspondiente asistencia técnica.

7.7 Costos de las medidas para la mitigación del impacto ambiental

La Tabla 7.17 presenta los costos de las medidas de mitigación ambiental para la instalación de la planta de asfalto.

N°	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.	PRECIO UNITARIO \$/.	COSTO TOTAL \$/.
1.0	CAMPAMENTOS				
1.1	Clausura de Rellenos Sanitarios y Pozos Sépticos	Und.	05	577.50	2,887.50
2.0	ZONA DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE ASFALTO Y EQUIPO				
2.1	Remoción y Readecuación de Áreas Ocupadas	M2	20,000	0.88	17,600.00
2.2	Rehabilitación de Zonas de Circulación	M2	3,000	1.48	4,440.00
3.0	REHABILITACIÓN DE CANTERAS Y CHANCADORAS				
3.1	Reacondicionamiento de áreas	M2	40,000	0.28	11,200.00
3.2	Arborización de la cantera o zona de explotación	M2	60,000	2.58	154,800.00
3.3	Rehabilitación del curso de río defensa ribereña	ML	300	150.36	45,108.00
4.0	DEPÓSITOS DE MATERIALES EXCEDENTE				
4.1	Acondicionamiento de material excedente	M3	42,733.98	2.56	109,398.99
5.0	EDUCACIÓN AMBIENTAL				
5.1	Talleres de Sensibilización	Glb.	10	550.00	5,500.00
5.2	Material Didáctico, Folletos, Trípticos	Millar	04	500.00	2,000.00
COSTO TOTAL					352,934.49

Tabla 7.17 Costos de las medidas de mitigación ambiental

La Foto 7.39 muestra el funcionamiento y operación de la planta de asfalto de tambor mezclador Double Barrel de Astec.



Foto 7.39 Mitigación del impacto ambiental con áreas restituidas y reacondicionadas durante la operación de la planta de asfalto



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los buenos consejos que me dan, sólo sirven para traspasarlos a otros.

OSCAR WILDE

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Para la producción de mezcla asfáltica en caliente, existen básicamente dos tipos de plantas de asfalto, ellas son: las tradicionales plantas de producción discontinua o las denominadas batch plants o plantas gravimétricas o plantas dosificadoras y las plantas de producción continua de tambor mezclador o drum mix. Las plantas de asfalto de producción discontinua o batch plant fueron muy comunes e hicieron un excelente trabajo en producir una mezcla de gran calidad durante los años 1,950 y 1,960. Sin embargo son muy costosas por su envergadura o tamaño; asimismo los costos de movilidad, transporte y montaje son aproximadamente el 2,900% respecto a las plantas de producción continua o drum mix. Además los costos de mantenimiento de la torre elevadora de agregados en caliente, secador, dosificadores de asfalto, cribas, fajas transportadoras y equipos complementarios para mitigar los impactos ambientales son sumamente altos.
2. Las plantas de mezcla asfáltica de producción continua de tambor mezclador o drum mix fueron introducidas en el mercado de la industria del asfalto a principio de los años 1,970. La tecnología para producir mezcla asfáltica en caliente era a través del tambor mezclador de flujo paralelo. Este tipo de plantas no son capaces de satisfacer requisitos para obtener mezclas de alta calidad, tampoco permiten controlar los límites permisibles de contaminación ambiental, los costos de operación y mantenimiento son elevados, no es posible incorporar sistemas de control para el aseguramiento de la calidad de la mezcla, debido a que su tecnología es limitada e incipiente y por tanto obsoleta.
3. Actualmente, todavía existen muchas plantas de mezcla en tambor de flujo paralelo que siguen fabricándose por ser económicas con los diseños convencionales de las primeras plantas de tambor mezclador (drum mixer) y aún mantienen muchas de estas desventajas o problemas. En el caso del Perú aproximadamente existen operando de 80 a 90 plantas de asfalto en caliente (administradas por organismos públicos y contratistas) y el 99.9% son de flujo paralelo, mediante una licitación realizada en el año 1,997 por parte del Ministerio de Transportes y Comunicaciones se adquirieron este tipo de plantas de asfalto con capacidades de 40 t/h a 100 t/h a la Empresa Brasileira CIFALLI. Estas plantas están a cargo del PROVIAS NACIONAL y se encuentran operando por convenio con los Gobiernos Locales o Regionales.
4. A finales del años 1,980 e inicios de los años 1,990 revoluciona la tecnología del tambor mezclador con la innovación tecnológica del tambor mezclador Double Barrel de la empresa norteamericana ASTEC INDUSTRIES INC, con el cual se logran obtener los siguientes resultados:
 - Con mezcla virgen la producción es del 15% más de toneladas por hora que un tambor mezclador de flujo paralelo y del 9% más de toneladas por hora que un tambor mezclador de contraflujo convencional funcionando con igual flujo de aire. Asimismo consume

- el 5% menos de combustible que un tambor mezclador de flujo paralelo y el 3% menos que un tambor mezclador de contraflujo convencional.
- El economizador de gas de escape permite el uso del 100% de agregados vírgenes y es posible añadir hasta el 50% de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) a la mezcla asfáltica manteniendo el 0% de opacidad. Esta ventaja se debe a que cuando el material reciclado se calienta en el tambor externo o cámara de mezcla, la humedad es expulsada como vapor produciendo una atmósfera de vapor inerte, prácticamente sin oxígeno libre. De esta forma casi no existe oxidación en la mezcla mientras permanezca en la cámara de mezcla, además el tiempo de mezcla es excepcionalmente prolongado de $\frac{3}{4}$ a 1 minuto en la cámara externa permitiendo tener el tiempo suficiente para que el reciclado se funda antes de la inyección del asfalto líquido obteniéndose finalmente una mezcla homogénea y de óptima calidad.
 - Con el uso del 50% de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) la producción es mucho más significativa del 24% más de toneladas por hora que un tambor mezclador de flujo paralelo y del 14% más de toneladas por hora que un tambor mezclador de contraflujo convencional funcionando con igual flujo de aire. Asimismo consume el 19% menos de combustible que un tambor mezclador de flujo paralelo y el 12% menos que un tambor mezclador de contraflujo convencional.
 - El diseño del Double Barrel proporciona temperaturas más bajas en la chimenea debido a que el 90% del calor para la fusión y el secado del material reciclado proviene del agregado virgen y el otro 10% proviene del calor conducido a través de la carcasa interna y de las paletas de Ni-Hard del tambor mezclador en la sección de mezcla, su eficacia térmica permite que cualquier humo u olor proveniente sea devuelto a través de los agujeros en el tambor externo que son los mismos que dejan pasar al agregado virgen a la carcasa externa, de esta forma los contaminantes se van directamente a la llama del quemador donde son quemados y consumidos saliendo por la chimenea vapor de agua. En cambio en el mezclador de flujo paralelo el agregado húmedo y frío se dispersa sobre la llama y tiende a apagarla, esto origina que las gotas de combustible se queden sin quemarse y se eliminan al medio ambiente provocando altos niveles de contaminación
5. En 1,973 se aprobó la Ley de Calidad Ambiental en los E.U.A la cual establece que todas las plantas de asfalto deberían tener emisiones menores al 20% de opacidad con granulometría en las partículas menor a 0.4 granos por pie cúbico de aire. Con la tecnología del tambor mezclador Double Barrel es posible obtener el 0% de opacidad y vapor de agua por la chimenea constituyéndose de esta manera en una planta ecológicamente aceptable por tener la tecnología de última generación.
6. Desde la última década, en los Estados Unidos y Canadá, las mezcladoras a tambor de contraflujo dominan el mercado de las plantas asfálticas y representan el 90 % de todas ventas de plantas de asfalto nuevas, debido a

son más económicas, fáciles para transportar y permiten procesar altos porcentajes de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement).

7. El costo unitario de \$ US 26.97/tn de mezcla asfáltica producida para el tamaño de Planta de Asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 200.
8. El costo total de operación de la planta de asfalto seleccionada técnicamente la Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 200 es de \$US 13.23 /tn sin utilizar RAP y utilizando el 30 % de RAP el costo es de \$US 10.73 es decir un ahorro del 23.30 % por tonelada de mezcla asfáltica producida.
9. El precio de venta por tonelada de mezcla asfáltica producida con el Tambor Mezclador Double Barrel es \$ US 37.87.
10. El valor de la inversión para la adquisición de las plantas de asfalto considerando el criterio de Optimización; Matemática del Tamaño de Planta se presenta en el siguiente cuadro:

PLANTA	A	B	C
INVERSIÓN \$ US	1'525,525.00	1'884,636.48	2'244,555.89

11. Según los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación en los aspectos correspondientes al Estudio Técnico; la Planta de Asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 300. La inversión de la adquisición es recuperada en 5 meses. El financiamiento considerado es de 4 años con 01 año de plazo de gracia y las cuotas anuales son de \$US 640,615.08. Los costos de transporte, montaje, operación y mantenimiento son razonablemente menores respecto a otras plantas. Son compactas, fáciles de transportar, el montaje es simple, no requiere de plateas de cimentaciones especiales, ductos para cables, grúas y equipos sofisticados para el montaje.
12. Según los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación en los aspectos correspondientes al Estudio Económico, Financiero, Análisis de Sensibilidad y Ambiental; la Planta de Asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 400 tiene las mejores ventajas comparativas y competitivas desde el punto de vista económico y financiero debido a que ofrece un VAN más uniforme y sostenible de \$US 28'013,067.01 y con una relación B/C de 1.461. Presenta en el análisis de sensibilidad la menor Variación Promedio del VAN 169.37%
13. Con este tipo de Planta de Asfalto es posible obtener mezclas asfálticas en caliente con diseños de última generación como SuperPave y SMA (Stone Matrix Asphalt).
14. Es factible aplicar la metodología del Seis Sigma σ a las plantas de asfalto en caliente como una filosofía de trabajo y una estrategia de mejora continua de procesos, que permita eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un patrón de defectos menor o igual a 3.4 defectos por millón lo que equivale en términos generales lograr un nivel de calidad del 99.9997 %. Al respecto, las empresas ASTEC, CMI, MARINI han logrado niveles de calidad del orden de 5.8 a 6 Sigma σ tanto en la fabricación de componentes y equipos para plantas de asfalto como en la producción de mezclas asfálticas en caliente.

15. El Programa Quinquenal 2,006-2,010 del Sistema de Gestión de Infraestructura Vial del MTC considera que el 83 % de la red asfaltada del Perú se encuentra en estado bueno y regular. Pero recurriendo al Tema de Aseguramiento de la Calidad con la aplicación del Seis Sigma σ no es posible aceptar valores inferiores al 99.9997 %; en consecuencia no se debe pensar y aceptar que valores del 83 % son buenos y aceptables como los que presenta el MTC.
16. Por las razones anteriormente expuestas, las carreteras en el Perú no cumplen su período de diseño y tienen un deterioro prematuro de las carpetas asfálticas principalmente aquellas carreteras que se encuentran en la sierra y selva del Perú.
17. Aplicando el Sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) en la Planta de Asfalto B Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 300, podemos lograr obtener los siguientes resultados:
 - El Monitoreo de los Procesos de Producción de Mezcla Asfáltica se realiza en tiempo real.
 - Se Identifican y Corrigen las Variables Críticas para cada Proceso.
 - El Aseguramiento y Mejora de la Calidad es continua y sostenible.
18. Es difícil realizar estudios de investigación en el Perú, debido al sinnúmero de dificultades y restricciones para obtener información y acceso a la comprobación de resultados. Sin embargo para la presente Tesis se ha efectuado un análisis comparativo sobre la base de algunas plantas de asfalto en caliente que están operando en el Perú; además se ha utilizado información de las investigaciones y estudios realizados en los E.U.A mediante visitas a las Empresas ALMIX y ASTEC y de Seminarios Tecnológicos.
19. Las actuales Bases Administrativas que disponen y utilizan los organismos públicos del Perú para la adquisición de plantas de asfalto presentan serias deficiencias en lo que se refiere a la tecnología del tambor mezclador, producción de mezcla, sistema de recolector de particulados, silos de compensación, tolvas, quemadores, etc; en consecuencia son copias de copias, obsoletas y desactualizadas en información de tecnología de vanguardia. En muchas de las adquisiciones de este tipo de plantas solamente se tiene como principal factor de evaluación el menor costo, el cual no necesariamente es el mejor parámetro de evaluación.
20. El Factor Ambiental con mayor impacto negativo es el aire cuyo parámetro es la Calidad del Aire debido a la emisión de los particulados. La acción Ambiental con mayor impacto negativo corresponde a la Ocupación Espacial del Área de Producción de Mezcla Asfáltica
21. No existe en el Perú Normativa específica referente a Estudios de Impacto Ambiental EIA relacionada con la operación de plantas de asfalto en caliente.
22. El Costo Total de las Medidas de Mitigación Ambiental asciende al valor de \$US 352,934.49.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar tecnología de última generación para la producción de mezclas asfálticas en caliente, la cual se logra con la Planta de Asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 300 ó PD 400, debido a que se obtiene una extraordinaria calidad de mezcla asfáltica, con menores niveles de contaminación, menores costos de producción y operación, altos niveles de procesamiento del RAP y menores costos de mantenimiento.
2. Los diseños de mezclas asfálticas en caliente deben considerar aspectos, metodologías y ensayos de laboratorio para producir mezclas SuperPave y SMA (Stone Matrix Asphalt) por ser diseños más homogéneos, resistentes, durables y económicos.
3. Se debería actualizar las Normas Nacionales por parte del MTC para el diseño de mezclas asfálticas en caliente producidas con plantas de asfalto de última generación.
4. Las Universidades deberían incluir en la Curricula de Estudios en el nivel del Pre Grado un Curso exclusivamente relacionado a la Tecnología de Equipos para las Obras de Ingeniería Civil la cual considere aspectos relacionados sobre Plantas de Asfalto en Caliente, Equipos para Pavimentación, Equipos para Recuperación de Caminos, Plantas y Equipos para Emulsiones Asfálticas. A nivel de Post Grado se debería incluir un curso sobre equipos de última generación sobre Plantas de Asfalto en Caliente como: Double Barrel, Double Drum Mix, Triple Drum, Shuttle Buggy, Batch Plants, Equipos de Laboratorio para Ensayos de Asfalto y Mezclas Asfálticas, etc.
5. Implementar en los Laboratorios de Asfalto y Pavimentos de las Universidades, Ministerio de Transportes, Sencico, e Institutos de Investigación con equipos de tecnología de punta para realizar diseños y pruebas de mezclas asfálticas de conformidad con las características y realidades de cada Región de nuestro País.
6. Por parte del CONSUCODE debería cambiar el Sistema de Contrataciones y Adquisiciones del Estado para la adquisición de maquinaria y equipo con avanzada tecnología. El nuevo marco normativo debe ser especializado y específico el cual debe considerar principalmente los siguientes aspectos:
 - Tecnología de Última Generación de las Plantas de Asfalto en Caliente.
 - Mitigación de Impactos Ambientales y Limites Máximos Permisibles de Contaminación.
 - Evaluación Económica, Financiera y Ambiental a través de metodologías y procesos de evaluación.
 - Estudio de Mercado con análisis de la oferta y demanda de mezclas asfálticas para cada zona o región, estadísticas, indicadores y ratios de producción.
 - El Valor Referencial debería ser reservado para la adquisición de este tipo de equipos a efecto que los fabricantes presenten sus mejores propuestas técnicas y económicas.
 - Las Bases Administrativas deben precisar con mayor incidencia y detalle los ratios tecnológicos como: consumo de combustible, en gal/tn de mezcla producida, energía en kwh/tn de mezcla producida,

agregados en m³ /tn de mezcla, % de procesamiento de RAP, Particulate Matter (PM), Particulate Matter con diámetro promedio < 10 micrones (PM₁₀), Sulfur Oxides (SO₂), Nitrogen Oxides (NO_x), Carbon Monoxide (CO), Volatile Organic Compounds (VOCs), con el fin de producir y obtener mezclas asfálticas en los distintos procesos; asimismo deben considerar las características técnicas de los componentes o partes de las plantas de asfalto. De la misma forma tener en cuenta la Innovación Tecnológica en la fabricación de los principales componentes, transporte, montaje, operación y mantenimiento de las planta de asfalto. También se debe incluir la capacitación y entrenamiento a los operadores y técnicos tanto en las instalaciones del país de donde proviene la planta de asfalto como en la zona en donde va a operar. Finalmente el soporte Post Venta con repuestos y servicio atención oportuna.

- El Comité de Adquisiciones debería estar integrado por técnicos, profesionales y especialistas acreditados en esta clase de tecnología de equipos y maquinaria.
7. Se recomienda continuar realizando estudios en laboratorio de las mezclas asfálticas producidas con agregados de cada Región del País y comparar la calidad obtenida con una planta de tecnología obsoleta respecto a la calidad obtenida con la Planta de Asfalto Six Pack Portátil Double Barrel de ASTEC Modelo PDB 300 de conformidad con los parámetros y estándares internacionales.
 8. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones debería realizar la evaluación de todas las plantas de asfalto a nivel nacional, con el fin de conocer los costos reales de producción, operación, mantenimiento, ambientales, de reposición, valores de rescate, a efecto de renovar el parque de plantas de asfalto.
 9. Implementar el Seis Sigma σ y SCADA en las plantas de asfalto como metodología para lograr el Aseguramiento de Calidad.
 10. Recomendar al MTC y Universidades, elaborar las Normas referentes a los Estudios de Impacto Ambiental y Mitigación para el caso de las plantas de asfalto.
 11. Se debe usar un colector de polvo con ciclón instalado antes de la cámara de filtros en las plantas mezcladoras continuas.
 12. Recomendar a la Universidad Nacional de Ingeniería que por intermedio de la Facultad de Ingeniería Civil presente esta Tesis de Maestría al Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Asociación de Municipalidades del Perú AMPE, Presidencia del Consejo de Ministros, Gobiernos Regionales y a otras entidades públicas y privadas para que consideren la mencionada o referida tecnología en sus Bases Administrativas de Adquisiciones.



BIBLIOGRAFÍA

El conocimiento y la conquista de la verdad cuestan mucho trabajo.

TIHAMER TOTH

BIBLIOGRAFÍA

1. **Ahuja, Hira; Walsh, Michael (1989).** "INGENIERÍA DE COSTOS Y ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS, MÉXICO": Editorial Alfaomega.
2. **Andía Valencia Walter (2004).** "MATEMÁTICA FINANCIERA Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS". Centro de Investigación y Capacitación Empresarial. 1ª Edición.
3. **Andrade Espinoza, Simón (1994).** "COMPENDIO DE PROYECTOS", 3ª. Ed., Lima: Marketing Consultores S.A.
4. **American Society for Testing and Materials (2003).** "ASTM D4887-93 STANDARD TEST METHOD FOR PREPARATION OF VISCOSITY BLENDS FOR HOT-RECYCLED BITUMINOUS MATERIALS", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.03, West Conshohoken, Pennsylvania.
5. **Anderson, K. (1999).** "ADVOCATES & AGGREGATES", TR News, Vol. 184, Transportation Research Board, National Research Council, N. W., Washington, D.C, pp. 8-13.
6. **Arlette Beltrán y Hanny Cueva (2001).** "EVALUACIÓN PRIVADA DE PROYECTOS UNIVERSIDAD DEL PACÍFICO". Centro de Investigaciones de la Universidad del Pacífico.
7. **Asphalt Institute (2005).** "MIX DESIGN METHODS FOR ASPHALT CONCRETE AND OTHER HOT- MIX TYPES", Asphalt Institute. Manual Series N°. 3.
8. **ASTEC (2005).** "FRESADO Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS", Revista Potencia Vol. 403, Goodman Business Press, Madrid, pp. 16-30.
9. **Austrroads (2000).** "GUIDE TO THE STRUCTURAL DESIGN OF ROAD PAVEMENTS", Austrroads, Sydney.
10. **Austrroads (1997).** "APRG REPORT NO. 18, SELECTION AND DESIGN OF ASPHALT MIXES", Australian Provisional Guide, Austrroads, Sydney.
11. **Baca Urbina, G (1990).** "EVALUACIÓN DE PROYECTOS. ANÁLISIS DE ADMINISTRACIÓN DE RIESGO", 2ª. Ed., México: McGraw-Hill,
12. **BID (1999).** "PROYECTO DE DESARROLLO: PLANIFICACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y CONTROL", México: Editorial Limusa.
13. **Banco Mundial (1990).** "PROCEDURE FOR ENVIRONMENTAL REVIEW OF IFC PROJECTS". Banco Mundial, Washington, D. C.,
14. **Bardesi, A. y Echevarría, O. (2001).** "LIGANTES BITUMINOSOS PARA MEZCLAS RECICLADAS EN CALIENTE", Jornadas sobre mezcla bituminosas recicladas en caliente, Asociación Española de la Carretera, Barcelona, pp. 43-58.
15. **Bartolomé, C. (2001).** "ESTUDIO Y DISEÑO DE LA MEZCLA. NORMATIVA ESPAÑOLA", Jornadas sobre mezcla bituminosas recicladas en caliente, Asociación Española de la Carretera, Barcelona, pp. 83-94.
16. **Belmonte, A., Ortuño, A. (2001).** "RECICLADO INTEGRAL DE FIRMES RÍGIDOS. EXPERIENCIA EN ANDALUCÍA ", Ponencia del 110 Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto (CILA), Lima (Perú).
17. **Bisset, R. (1982):** "METHOD FOR E.I.A.: A SELECTIVE SURVEY WITH CASE STUDIES TRAINING COURSE ON E.I.A", China. Edit Mc Graw-Hill.

18. **Bisset, R (1984).** "METHODS FOR ASSESSING DIRECT IMPACTS IN PERSPECTIVES ON ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT", Edit Mc Graw-Hill.
19. **Brown, E. R. (1998).** "ENSURING QUALITY IN HOT-MIX RECYCLING", Transportation Research Record 885, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp. 8-13.
20. **Brown Steve, Morrinson George (2001).** THE INTRODUCTION TO SIX-SIGMA METHODOLOGY. Editorial Trillas.
21. **Bukowski, J. R. (1999).** "GUIDELINES FOR THE DESIGN OF SUPERPAVE MIXTURES CONTAINING RECLAIMED ASPHALT PAVEMENTS (RAP)", Federal Highway Administration, Superpave Mixtures Expert Task Group.
22. **Campelo, E. y Pérez, F. E. (2002).** "EFECTO DE LA COMPACTACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO A LA FATIGA DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS RECICLADAS EN CALIENTE", Tesina de Especialidad, Universidad de Barcelona.
23. **Canada John, Sullivan William, White John (1997).** "ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN DE CAPITAL PARA INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN", Nueva York: Prentice-Hall.
24. **Canter, Larry W (1997).** "MANUAL DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL". Ed. Mc Graw- Hill, Madrid.
25. **Castillo, S. y Miró, R. (1999).** "TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL ESTUDIO DE UNA MEZCLA MIXTA PARA LA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS RECICLADOS EN FRÍO "IN SITU" EMPLEANDO EMULSIÓN Y CEMENTO ", Tesis Doctoral, ETSECCPB-UPC, Barcelona.
26. **CEN Technical Committee CEN TC227 (2001).** "BITUMINOUS MIXTURES - MATERIAL SPECIFICATION, PART 8: RECLAIMED ASPHALT", Comité Européen de Normalisation, Bruselas.
27. **Clark, Brian P. (2003).** "EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ALCANCES Y OBJETIVOS". Original en inglés publicado en el libro Perspectives on Environmental Impact Assessment P. Reidel Publishing Co.
28. **CMI Technical Papers (2005).** Triple Drum . CMI Corporation.
29. **Colomer, J. Meléndez, J. y Ayza, J (2000).** "SISTEMAS DE SUPERVISIÓN". Colección de Cuadernos de CEA-IFAC. Cetisal Boixareu Editores.
30. **Collazos Cerrón Jesús (2001).** "MANUAL DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PARA EL NUEVO MILENIO". 1ª Edición. Editorial San Marcos.
31. **Crosby, Philip B. (1989).** "HABLEMOS DE CALIDAD" Edit. McGraw Hill.
32. **Decoene, Y. (1989).** "REUTILISATION EN PLACE D'ENROBES BITUMINEUX", Centre de Recherches Routieres, Bruselas.
33. **Del Pozo, J. (2001).** "PRUEBAS EXPERIMENTALES DE RECICLADO DE MEZCLAS BITUMINOSAS CON AGENTES REJUVENECEDORES", Jornadas sobre mezcla bituminosas recicladas en caliente, Asociación Española de la Carretera, Barcelona, pp. 128-141.
34. **Departments of the Army and the Air Force (1988).** "STANDARD PRACTICE FOR PAVEMENT RECYCLING", Publication TM 5-822-10, Chapter 4.

35. **Dickinson G.M.** y **Lewis J.E.** (2002). "FINANCIAL MANAGEMENT HANDBOOK". Editorial Kluwer- Harrap. Brentford Inglaterra.
36. **Docampo José M, Franivski Anatoli** (1999). "MANUAL DE EJECUCIÓN DE TRABAJOS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS". Coedición MTI LTDA Colombia.
37. **Don Brock,** (1995). "TECHNICAL PAPER T -103 OXIDATION OF ASPHALT", ASTEC, Chattanooga USA.
38. **Don Brock,** (2004). "TECHNICAL PAPER T -117 CAUSES AND CURES" ASTEC, Chattanooga USA.
39. **Don Brock,** (1995). "TECHNICAL PAPER T -119S TAMBOR SECADOR MEZCLADOR", ASTEC, Chattanooga USA.
40. **Don Brock,** (2002). "TECHNICAL PAPER T -119 DRYER DRUM MIXER", ASTEC, Chattanooga USA.
41. **Don Brock,** (2002). "TECHNICAL PAPER T -121 BAGHOUSE FINES" ASTEC, Chattanooga USA.
42. **Don Brock,** (2001). "TECHNICAL PAPER T -123 PAVEMENT SMOOTHNESS" ASTEC, Chattanooga USA.
43. **Emery, J.** (1993). "ASPHALT CONCRETE RECYCLING IN CANADA" Transportation Research Record 1427, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp. 38-46.
44. **Ernesto R. Fontaine** (2003). "EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS". Universidad Católica de Chile, Edit Alfaomega 12ª Edición.
45. **European Asphalt Pavement Association, EAPA** (2002). "ASPHALT IN FIGURES", European Asphalt Pavement Association, Netherlands,
46. **Federal Highway Administration** (2000). "RECYCLED MATERIALS IN EUROPEAN HIGHWAY ENVIRONMENTS", U.S. Department of Transportation and Federal Highway Administration.
47. **Fernández, J.A.** (2001), "CONTROL DE EJECUCIÓN DE MEZCLAS RECICLADAS EN CALIENTE", Jornadas sobre mezcla bituminosas recicladas en caliente, Asociación Española de la Carretera, Barcelona, pp. 95-108.
48. **Finnish Pavement Technology Advisory Council (PANK)** (1995). "FINISH ASPHALT SPECIFICATIONS". Finish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki.
49. **Forrest W. Breyfogle II** (1999). "IMPLEMENTING SIX SIGMA SMARTER SOLUTIONS USING STATISCAL METHODS" Edit Mc Graw-Hill.
50. **García, J.** (2001). "EQUIPOS Y MAQUINARIA PARA EL RECICLADO EN CALIENTE". Jornadas sobre mezcla bituminosas recicladas en caliente, Asociación Española de la Carretera, Barcelona, pp.59-82.
51. **Gómez Sánchez Soto Rubén** (2006). "SEPARATAS DEL CURSO: CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN". Maestría en Tecnología de la Construcción Universidad Nacional de Ingeniería UNI Lima Perú.
52. **Harry Mikel, Schoeder Richard** (2000). "SIX SIGMA THE BREAKTROUGH MANAGEMENT STRATEGY". Mc Graw - Hill Editorial.
53. **Hernández, Ortega Eduardo** (1999). "PLANTAS DE ASFALTO". Editorial GICA México.
54. **Highway Research Center** (2002). "USER GUIDELINES FOR WASTE AND BYPRODUCT MATERIALS IN PAVEMENT CONSTRUCCION", Turner Fairbank Highway Research Center Federal Highway Administration

55. **Holp Larry y Pande Peter (2002).** "WATH'S SIX SIGMA?" Mc Graw - Hill Editorial.
56. **Hossain, M., Metcalf, D. G. Y Scofield, L. A. (1993).** "PERFORMANCE OF RECYCLED ASPHALT CONCRETE OVERLAYS IN SOUTHWESTERN ARIZONA", Transportation Research Record 1427, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp. 30- 37.
57. **Howard, P. D. Y Reed, D. A. (1999).** "STREET MAINTENANCE RECYCLES WITH 100% RAP". Roads and Bridges. Vol. 28, p. 63.
58. **Hoeberry. J.** "STATUS AND APPLICATION OF EIA FOR DEVELOPMENT". Gland conservation for Development Centre, 1984.
59. **ILPES-CEPAL (1973).** "GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS". Ed. Siglo XXI, México.
60. **Instituto del Asfalto (2004).** Manuales del Instituto del Asfalto.
61. **Kafka, Folke (1992).** "EVALUACIÓN ESTRATÉGICA DE PROYECTOS DE INVERSIÓN", Biblioteca Universitaria No. 5, Lima: Universidad del Pacífico.
62. **Kandhal, P. S., Rao, S., Watson, D. y Young, B. (1995).** "PERFORMANCE OF RECYCLED HOT- MIX ASPHALT MIXTURES NCAT REPORT N°. 95-1". National Center for Asphalt Technology. Georgia.
63. **Kennedy, T. W., Roberts, F. L. (1982).** "QUALITY-ASSURANCE CONSIDERATIONS IN DESIGN OF RECYCLED ASPHALT MIXTURE", Transportation Research Record 885, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp. 1-7.
64. **Kraemer, C., Morilla, I., del Val, M.A. (1999).** "CARRETERAS II", Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Servicio de Publicaciones-Colegios Escuelas, Madrid.
65. **Lázaro, A. M (2001).** "PROGRAMACIÓN GRÁFICA PARA EL CONTROL DE INSTRUMENTACIÓN". LabVIEW 6 Paraninfo.
66. **Leopold, L B, F. E. Clark, B. B. Hanshaw and J.R. Balsley (1991).** "A PROCEDURE FOR EVALUATING ENVIRONMENTAL IMPACT" US Geological Survey Circular 645, D.1 Washington DC.
67. **Lluch, A. (2001).** "INNOVACIÓN Y PROYECTOS EUROPEOS EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN", JORNADAS SOBRE MEZCLA BITUMINOSAS RECICLADAS EN CALIENTE", Asociación Española de la Carretera, Barcelona, pp. 112-117.
68. **López, A. (2001).** "PERSPECTIVAS DEL USO DEL RECICLADO EN PLANTA", Jornadas sobre mezcla bituminosas recicladas en caliente", Asociación Española de la Carretera, Barcelona, pp. 118-127.
69. **National Instruments (2005).** "MANUALES Y SOFTWARE DE LABVIEW DE NATIONAL INSTRUMENTS".
70. **National Instruments (2005).** "MANUALES DE LABVIEW DE NATIONAL INSTRUMENTS".
71. **Martín, P. (2001),** "RENOVAR ANTES QUE TIRAR. EL RECICLADO DE ASFALTOS, UNA TENDENCIA AL ALZA EN LA REHABILITACIÓN DE CARRETERAS", Revista Carreteras abril 2001, Asociación Española de la Carretera, Madrid, pp. 22-27.
72. **Maya Héctor, Rodriguez-Salazar Jesús, Rojas Julieta, Zazueta Guillermo; Editorial Oceánica; (2001).** "ESTRATEGIAS DE MANUFACTURA APLICANDO LA METODOLOGÍA SIX-SIGMA". Mc Graw - Hill Editorial.

73. **Meza Orozco Jhonny de Jesús (2004).** "MATEMÁTICAS FINANCIERAS APLICADAS". 2ª Edición. ECOE Ediciones.
74. **McDaniel, R. S., Soleymani, H. y Shah, A. (2002).** "USE OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) UNDER SUPERPAVE SPECIFICATIONS", North Central Superpave Center, West Lafayette, IN.
75. **Mike Robson (1992).** "QUALITY CIRCLES IN ACTION". Kogan Page Editions.
76. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2003).** "PLAN NACIONAL VIAL", "PLAN ESTRATEGICO INSTITUCIONAL 2004-2006" y "PROGRAMA QUINQUENAL 2006-2010 DEL SISTEMA DE GESTION DE INFRAESTRUCTURA VIAL".
77. **Miró, R. (2001).** "CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS MEZCLAS RECICLADAS EN CALIENTE", JORNADAS SOBRE MEZCLA BITUMINOSAS RECICLADAS EN CALIENTE", Asociación Española de la Carretera, Barcelona, pp. 27-42.
78. **Moreno, L. (2001).** "EXPERIENCIA DE PAVIMENTOS BARCELONA S. A. EN EL RECICLADO EN PLANTA EN CALIENTE" Jornadas sobre mezcla bituminosas recicladas en caliente, Asociación Española de la Carretera, Barcelona, pp. 146-151.
79. **Moreira, Iara Verocai Dias (1989).** "EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL: INSTRUMENTO DE GESTIÓN". Cuadernos FUNDAP N° 16.
80. **Morrinson Brown Steve (1991).** "THE INTRODUCTION TO SIX-SIGMA METHODOLOGY". Editorial Trillas.
81. **Munn, R. E. (1979).** "ENVIRONMENTAL IMPACT ANALYSIS. PRINCIPIES AND PROCEDURES", Segunda Edición, SCOPE Report N° 5 Chichester, Wiley.
82. **Naciones Unidas (1974).** "INDUSTRIALIZACIÓN Y PRODUCTIVIDAD", Boletín N° 20, Nueva York,
83. **Norman Smith (1994).** "TECHNICAL PAPER T-111". ASTEC, Chattanooga USA.
84. **North Carolina Department of Transportation (2002).** "HOT MIX ASPHALT, QUALITY MANAGEMENT SYSTEM MANUAL", Section 8 Recycling of asphalt pavements, NCDOT.
85. **Noureldin, A. S. y Wood, L. E. (1990).** "LABORATORY EVALUATION OF RECYCLED ASPHALT PAVEMENT USING NONDESTRUCTIVE TESTS", Transportation Research Record 1269, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp. 92- 100.
86. **Páez, A., Moreno, E. y Bardesi, A. (2000).** "DISEÑO EN LABORATORIO DE RECICLADOS EN CALIENTE CON REJUVENECEDORES", Repsol YFF.
87. **Pellicé, I. M. (2001).** "RECICLADO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE PROCEDENTES DEL FRESADO DE LOS FIRMES", Jornadas sobre mezcla bituminosas recicladas en caliente, Asociación Española de la Carretera, Barcelona, pp. 152-156.
88. **Potts, Ch. F. (1982).** "ENSURING QUALITY OF RECYCLED ASPHALT CONCRETE", Transportation Research Record 885, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp. 14-24.
89. **Plotkin, Hal (2003).** "SIX SIGMA. QUÉ ES Y CÓMO UTILIZARLO". Harvard Business Review /Management Herald.

90. **Quispe Ramos Rosario (2002).** "FORMULACION, EVALUACION, EJECUCION Y ADMINISTRACION DE PROYECTOS DE INVERSION". Instituto de Investigación El Pacífico E.I.R.L.
91. **Reyes, C. A. y Pérez, F. (1999).** "ANÁLISIS DEL EMPLEO DE MATERIAL FRESADO DE PAVIMENTOS EN LA FABRICACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE", Tesina de Postgrado, CPB-UPC, Barcelona.
92. **Rico, A. y Del Castillo, H. (1989).** "LA INGENIERÍA DE SUELOS EN LAS VÍAS TERRESTRES", Editorial Limusa, México D.F.
93. **Rivera Salcedo Jorge (2002).** "MATEMATICAS FINANCIERAS". Edit Alfaomega 3ª Edición.
94. **Robertson David & Smith Hanniel (2001).** "SIX-SIGMA METHODOLOGY APPLIED TO INDUSTRIAL PROCESS" .Edit Mc Graw – Hill.
95. **Roberts, F. L., Kandhal, P. S., Brown, E. R., Lee, Dah-Yinn, Kennedy, T. W. (1996).** "HOT MIX ASPHALT MATERIALS, MIXTURE DESIGN AND CONSTRUCTION". Education Foundation NAPA.
96. **Ruiz, A. (2001).** "RECICLADO DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN PLANTA EN CALIENTE: PROCESO, VENTAJAS Y LIMITACIONES, EMPLEO Y PERSPECTIVAS", Jornadas sobre mezcla bituminosas recicladas en caliente, Asociación Española de la Carretera, Barcelona, pp. 9-26.
97. **Sapag Chain Nassir y Sapag Chain Reinaldo (2002).** "PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS". Edit Mc Graw Hill 3ª Edición.
98. **Sapag Chain Nassir y Sapag Chain Reinaldo (2003).** "CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS: CÓMO MEDIR LA RENTABILIDAD DE LAS INVERSIONES", Madrid: Mc Graw-Hill.
99. **Sapag Puelma José Manuel (2000).** "EVALUACIÓN DE PROYECTOS: GUÍA DE EJERCICIOS Y SOLUCIONES", Santiago de Chile: Mc Graw-Hill.
100. **Serpell B Alfredo (2002).** "ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE CONSTRUCCIÓN". Ediciones Universidad Católica de Chile
101. **Smith, R. (1980).** "STATE OF THE ART HOT RECYCLING", Transportation Research Record 780, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp. 115-124.
102. **Travis, J (2000).** "INTERNET APPLICATIONS IN LABVIEW". Prentice Hall.
103. **Tella, R. (2001).** "PERSPECTIVAS DEL RECICLADO DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN EN CATALUÑA", Jornadas sobre mezcla bituminosas recicladas en caliente, Asociación Española de la Carretera, Barcelona, pp. 110-111.
104. **Ubillus Calmet Juan Carlos (2005).** "SEPARATAS DEL CURSO DE MONTAJE INDUSTRIAL". Maestría en Tecnología de la Construcción Universidad Nacional de Ingeniería UNI Lima Perú.
105. **Van Heystraeten, G. (1993).** "CEMENT CONCRETE AND ASPHALT PAVEMENTS IN BELGIUM THEIR DESIGN, MAINTENANCE AND RECYCLING", Belgium Road Research Centre, Bruselas.
106. **Van Heystraeten, G., Moraux, C. y Glorie, G. (1991).** "LE RECYCLAGE D'ENROBES ASPHALTIQUES EN CENTRALE DISCONTINUE", Centre de Recherches Routieres CR 32/91.
107. **Yoder, E. J. Y Witzak, M. W. (1975).** "PRINCIPIES OF PAVEMENT DESIGN", John Wiley & Sons Inc., Second Edition, USA.

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS PÁGINAS WEB:

1. <http://www.osha-slc.gov/SLTC/asphaldfumes/>
2. <http://www.industrialprocess.service.usa.com>
3. <http://www.qualitymanagement.usa.edu>
4. <http://www.astec.com>
5. <http://www.ablisa.com.col>
6. <http://www.worldofasphalt.com>
7. <http://www.icar.utexas.edu>
8. <http://www.astecinc.com>
9. <http://www.cmicorporation>
10. <http://www.eapa.org>
11. <http://www.flynnbrothers.com>
12. <http://www.hardinpaving.com>
13. <http://www.tfurc.gov>
14. <http://www.martec.ca>
15. <http://www.mtc.gob.pe>
16. <http://www.doh.dot.state.nc.us>
17. <http://www.industrialprocess.service.usa.com>
18. <http://www.benardi.com>
19. <http://www.mariniasphalt.com>
20. <http://www.intrame.it.com>
21. <http://www.ermont.fr>
22. <http://www.terexrb.com.br>
23. <http://www.cifali.bra>
24. <http://www.sencico.com>
25. <http://www.proinversion.com>
26. <http://www.proviasnacional.com>
27. <http://www.humbolt.com>
28. <http://www.ele.com>
29. <http://www.napa.com>
30. <http://www.epa.com>
31. <http://www.ciber.com>
32. <http://www.roadtec.usa>
33. <http://www.cedarapids.com>
34. <http://www.italianbuilding.it>
35. <http://www.ausa.es>
36. <http://www.topcon.com>
37. <http://www.cochanrefineria.com>
38. <http://www.petroperu.gob.pe>
39. <http://www.scadaautomation.com>
40. <http://www.almix.com>
41. <http://www.admasphalt.usa>
42. <http://www.ceienterprises.com>
43. <http://www.dynapac.com>
44. <http://www.ciber.com>
45. <http://www.resansil.com>
46. <http://www.voegele-ag.de>
47. <http://www.cat.com>



ANEXOS

ANEXO 1

CERTIFICADOS



ASTEC, INC.

CHATTANOOGA, TENNESSEE U.S.A.

ASTEC, INC. IS PLEASED TO PRESENT THIS CERTIFICATE TO:

ING. HUGO MIRANDA

REPRESENTANTE CONSEJO PROVINCIAL DE CAJAMARCA, PERU

**FOR THE SUCCESSFUL COMPLETION OF A TECHNICAL SEMINAR ON HOT ASPHALT MIXING PLANTS,
ASPHALT MILLING AND RECYCLING, BAGHOUSE FINES, PAVEMENT SMOOTHNESS AND CONTROLS,
AT ASTEC'S TRAINING FACILITIES, ON JANUARY 9, 1996, IN CHATTANOOGA, TENNESSEE U.S.A.**

A handwritten signature in black ink, reading "Michael K. Uchytel". The signature is fluid and cursive.

**MICHAEL K. UCHYTIL
VICE PRESIDENT AND GENERAL MANAGER
ASTEC INTERNATIONAL**

ALmix

13333 Hwy 24W
Ft. Wayne, IN 46804
Phone 219-672-3004
Fax 219-672-3020

**El Que Suscribe
Gerente De Almix Company
Certifica**

Que el Ing. Hector Hugo Miranda Tesada, Regidor de Conceso Provincial de Cajamarca, ha participado en la evaluacion de la planta de asfalto modelo Almix 8032 Drum Mix System, Equipos para pavimentacion y procesos constructivos de vias con asfalto, en Ft Wayne, Indianapolis.

Se otorga el presente Certificado para los fines correspondientes.

ALmix


A. Michael Shurtz

ANEXO 2

PLAN VIAL NACIONAL



PROVIAS NACIONAL

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

República del Perú
 Ministerio de Transportes y Comunicaciones



Nosotros

Logros

Planificación

Proyectos

Red Vial

Trámites y Servicios

Transparencia

	<h2>Plan Vial Nacional</h2>
<p>Inicio</p> <p>Nosotros</p> <p>Planificación</p>	<p>Antecedentes</p> <p>El Ministerio de Transportes y Comunicaciones ha diseñado un ambicioso Plan de Desarrollo Vial el cual tienen por objetivo integrar los centros poblados con las zonas de producción y zonas turísticas más importantes del país.</p>
<p>2004-2006</p> <p>Plan Estratégico</p>	<p>El plan, concebido como un aporte fundamental para el desarrollo y la lucha contra la pobreza, incluye objetivos bien definidos, que van a permitir la incorporación de extensas regiones productoras y con altos niveles de riqueza no aprovechada a los centros urbanos de intercambio y los principales puertos marítimos y fluviales.</p>
<p>2004-2006</p> <p>Sistema de Gestión de Infraestructura Vial</p>	<p>El plan considera la priorización de desarrollo de tres circuitos viales básicos, los cuales están conformados por tramos importantes de las carreteras Panamericana en la Costa, Longitudinal de la Sierra, la Marginal de la Selva y las carreteras de penetración.</p>
<p>Quinquenal 2006-2010</p> <p>Programa</p> <p>Plan Operativo</p> <p>Informes de Gestión</p> <p>Plan Vial Nacional</p>	<p>Al inicio de la década pasada, la infraestructura vial se encontraba sumamente deteriorada y el país había alcanzado un crítico nivel de desarticulación e incomunicación que lo situaba al borde del colapso económico y social, en ese entonces sólo el 12% de la Red Vial Nacional se encontraba en buenas condiciones.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ del Plan Descripción ▪ del Plan Ejecución ▪ Ambiente Medio ▪ Vial Seguridad 	<p>En una primera etapa, de 1991 a 1995, se ejecutó un programa de urgencia destinado a recuperar un nivel de accesibilidad mínimo indispensable, para luego emprender un programa de rehabilitación del sistema intermodal comercial de las zonas de alto potencial de recursos agropecuarios conectándolos con los mercados de consumo, así como la interconexión con los países vecinos de América del Sur, en la búsqueda de implementar un sistema de transporte multimodal eficiente, moderno y esencial para el desarrollo del país.</p> <p>Durante esos años, el MTC ejecutó con recursos del Tesoro Público y Endeudamiento Externo, decenas de obras de rehabilitación de carreteras, puentes y aeropuertos.</p>
<p>Quincenales</p> <p>Informes</p>	<p>Se invirtieron 416 millones de dólares del Tesoro Público en obras destinadas a salvar los tramos críticos para la accesibilidad regional.</p>
<p>y Gestión Vial</p> <p>Seminario de Política</p> <p>Seminario Shock de</p>	<p>Como punto de partida de un plan de mayor alcance, en febrero de 1992 se suscribe el primer contrato de préstamo con el BID para un programa de 322,5 millones de dólares, de los cuales 210 millones aportada por el BID y 112.5 millones el</p>

Inversiones

Proyectos

Red Vial

Trámites y Servicios

Transparencia

Inicio

Oficinas Zonales

Mapa del Sitio

Tesoro Público. Las obras correspondientes se inician en agosto de ese año, los logros alcanzados son evidentes.

En 1995 se concluye la rehabilitación de la carretera Panamericana entre Aguas Verdes (Tumbes) y la Concordia (Tacna) así como la Carretera Central entre Lima y Huanuco.

Evolución de la Red Nacional Vial

El siguiente cuadro muestra la evolución del estado de la Red nacional entre 1990 y 1999. En él se aprecia que la calificación de bueno se incrementa en más de 3.8 veces y la situación en mal estado disminuye casi un 72%.

	Año 1999	%	Km	Bueno	Regular	Malo
Asfaltada		51%	8,270	6,487	1,183	600
Afirmada		35%	5,592	703	2,272	2,617
Sin Afirmar		14%	2,224	0	454	1,770
Total		100%	16,086	7,190	3,909	4,988
Porcentaje			100%	45%	24%	31%
Año 1995						
Asfaltada		37%	6,096	4,077	1,232	787
Afirmada		41%	6,843	925	4,687	1,231
Sin Afirmar		22%	3,574	0	1,785	1,789
Total		100%	16,513	5,002	7,704	3,807
Porcentaje			100%	30%	47%	23%
Año 1990						
Asfaltada		37%	5,740	1,394	1,985	2,361
Afirmada		44%	6.98	489	3,928	2,410
Sin Afirmar		19%	2,994	0	992	2,002
Total		100%	15,692	1,883	6,905	6,904
Porcentaje			1,005	12%	44%	44%

Sistema Vial del País por Departamentos

El Sistema vial del país, desagregado a nivel de cada departamento, se presenta a continuación en sus tres componentes : Red Nacional, Red Departamental y Caminos Rurales, en Km. de longitud en cada uno.

Departamentos	Long. Total	Red Nacional	Red Dptal	Redes Vecinales
1 Amazonas	1,675	657	408	610
2 Ancash	4,937	1,281	1,067	2,590
3 Apurímac	2,959	559	544	1,855
4 Arequipa	6,372	1,053	1,417	3,902
5 Ayacucho	4,269	596	891	2,782
6 Cajamarca	5,547	1,249	739	3,559
7 Cusco	5,433	836	1,730	2,867
8 Huancavelica	3,634	411	737	2,486
9 Huanuco	2,910	691	4147	1,805
10 Ica	2,994	738	336	1,220
11 Junín	6,311	874	590	4,847
12 La Libertad	4,155	759	886	2,511
13 Lambayeque	1,864	502	104	1,257
14 Lima	4,669	1,293	458	2,919
15 Loreto	644	44	387	213
16 Madre de Dios	1,072	429	46	598
17 Moquegua	1,654	472	188	994
18 Pasco	2,424	393	621	1,410
19 Piura	4,398	857	578	2,963
20 Puno	5,037	1,258	1,155	2,624
21 San Martín	2,027	725	173	1,130
22 Tacna	1,991	597	483	911
23 Tumbes	866	199	318	350
24 Ucayali	890.9	384	0	507
Total Red Vial	78,034	16,857	14,268	46,909

Fuente: "Plan de Desarrollo de la Infraestructura Vial" MTC 1999

Metas 2000 - 2010

Actividad	Metas Proyectadas (Km)										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Construcción	210	171	251	259	307	318	214	206	180	203	2,320
Mejoramiento	238	346	290	252	257	588	503	460	311	403	3,646
Rehabilitación	1,384	952	375	288	294	161	120	29	7	7	3,615

Este esfuerzo que ha contado con el apoyo de Gobiernos Regionales y Municipales, ha permitido que el sistema vial del país se incremente en el período 1990 - 1999 en 8092 km.: de 69,942 a 78,034.

PROVIAS NACIONAL - Todos los Derechos Reservados
 Jr. Zorritos Nº 1203 - Lima 01 - Central Telefónica 315-7800



PROVIAS
 NACIONAL

República de Perú
 Ministerio de Transportes y Comunicaciones



Nosotros

Logros

Planificación

Proyectos

Red Vial

Trámites y Servicios

Transparencia

Inicio

Nosotros

Planificación

2004-2006	Plan Estratégico
de Infraestructura Vial	Sistema de Gestion
Quinquenal 2006-2010	Programa
	Plan Operativo
	Informes de Gestión
	Plan Vial Nacional
▪ del Plan	Descripción
▪ del Plan	Ejecución
▪ Ambiente	Medio
▪ Vial	Seguridad
Quincenales	Informes
y Gestion Vial	Seminario de Política

Descripción del Plan

Descripción del Plan

Culminada la etapa inicial de urgencia se ha diseñado un plan vial, que ha consolidado las primeras acciones y se proyecta hacia una etapa durante la cual el mejoramiento del sistema de transporte contribuirá sustantivamente a lograr un cambio positivo y significativo en la calidad de vida de la población.

El plan prioriza la ejecución de tres Circuitos Viales Básicos que tienen como eje común la Carretera Panamericana. Ellos permitirán alcanzar la integración regional entre la costa, la sierra y la selva.

Mapa de la Red Vial Nacional

» [Ver Mapa Vial Nacional](#) GIF 61.0 KB

Circuito Vial Norte

El Circuito Norte está conformado por la Carretera Mesones Muro entre Olmos y Corral Quemado; la Carretera Marginal de la Selva entre Corral Quemado y Huanuco; y la Carretera Federico Basadre entre Huanuco y Lima.

» [Ver Mapa Vial Norte](#) JPG 59.3 KB

Circuito Vial Centro

El Circuito Central está conformado por la Carretera Central entre Lima y La Oroya; la longitudinal de la Sierra entre La Oroya y Ayacucho; y la Vía de Los Libertadores entre Ayacucho y Pisco. El Circuito Central se conecta con el Circuito Sur mediante el tramo Ayacucho-Abancay.

» [Ver Mapa Vial Centro](#) JPG 35.5 KB



**PROVIAS
NACIONAL**

República de Perú
Ministerio de Transportes y Comunicaciones



Nosotros

Logros

Planificación

Proyectos

Red Vial

Trámites y Servicios

Transparencia

Inicio

Nosotros

Planificación

2004-2006	Plan Estratégico
	Sistema de Gestion de Infraestructura Vial
Quinquenal 2006-2010	Programa
	Plan Operativo
	Informes de Gestión
	Plan Vial Nacional
▪ del Plan	Descripción
▪ del Plan	Ejecución
▪ Ambiente	Medio
▪ Vial	Seguridad
Quincenales	Informes
y Gestion Vial	Seminario de Política

Ejecución del Plan

Circuito Norte y sus Ramales

Las Obras del Circuito Norte Comprenden los siguientes tramos :

Corral Quemado-Río NievaTarapoto	410 km
Tingo María-Huánuco	121 km
Tarma-La Merced	72 km
La Merced-Satipo	123 km

Se han concluido las obra de mejoramiento de la Carretera Marginal de la Selva entre Tarapoto y Tingo María; y de dos carreteras de penetración en servicio desde hace años, que dan acceso a los dos puertos fluviales que interconectan a la Región Amazónica: Yurimaguas y Pucallpa.

Tarapoto - Tingo María	480 km
Tarapoto - Yurimaguas	134 km
Tingo María - Pucallpa	255 km

Circuito Central y sus Ramales

Esta comprende los siguientes tramos :

Ayacucho-pisco	335.3 Km
Izcuchaca-Ayacucho	189 Km
Ayacucho-Abancay (enlace con Circuito Sur)	399 Km
Ayacucho-San Francisco	190 Km

Seminario Shock de Inversiones Proyectos Red Vial Trámites y Servicios Transparencia Inicio Oficinas Zonales Mapa del Sitio	<p>Circuito Sur Comprende las Carreteras :</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Puquio- Abancay- Cusco - Juliaca -Desaguadero</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">1,042 km</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Juliaca -Santa Lucía -Yura -Arequipa</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">269 km</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ilo -Desaguadero</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">359 km</td> </tr> </table> <p>Carretera Interoceánica Comprende las carreteras :</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">El Reposo - Nazareth - Sta. María de Nieval</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">209 Km</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Urcos - Quincemil - Puerto Maldonado</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">487 Km</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Puerto Maldonado - Iñapari</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">244 Km</td> </tr> </table> <p>Carreteras de Penetración</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Cañete - Yauyos - Concepción - Satipo</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">522 km</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Huaura - Oyón - Yanahuanca - Ambo</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">292 km</td> </tr> </table> <p>Longitudinal de la Sierra</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Cuyca - Pimpingos</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">30 km</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Corongo - Tauca</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">46 km</td> </tr> </table> <p>Longitudinal de la selva</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">San Ignacio - Chamaya</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">125 km</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Corral Quemado - Río Nieva</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">175 km</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Río Nieva - Tarapoto</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">235 km</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Tarapoto - Tingo María</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">480 km</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">San Alejandro -Villa Rica - La Merced</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">359 km</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">La Merced - Satipo</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">123 km</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Satipo - Pto. Ocopa - Atalaya</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">290 km</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Nauta - Iquitos - Mazán</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">160 km</td> </tr> </table>	Puquio- Abancay- Cusco - Juliaca -Desaguadero	1,042 km	Juliaca -Santa Lucía -Yura -Arequipa	269 km	Ilo -Desaguadero	359 km	El Reposo - Nazareth - Sta. María de Nieval	209 Km	Urcos - Quincemil - Puerto Maldonado	487 Km	Puerto Maldonado - Iñapari	244 Km	Cañete - Yauyos - Concepción - Satipo	522 km	Huaura - Oyón - Yanahuanca - Ambo	292 km	Cuyca - Pimpingos	30 km	Corongo - Tauca	46 km	San Ignacio - Chamaya	125 km	Corral Quemado - Río Nieva	175 km	Río Nieva - Tarapoto	235 km	Tarapoto - Tingo María	480 km	San Alejandro -Villa Rica - La Merced	359 km	La Merced - Satipo	123 km	Satipo - Pto. Ocopa - Atalaya	290 km	Nauta - Iquitos - Mazán	160 km
Puquio- Abancay- Cusco - Juliaca -Desaguadero	1,042 km																																				
Juliaca -Santa Lucía -Yura -Arequipa	269 km																																				
Ilo -Desaguadero	359 km																																				
El Reposo - Nazareth - Sta. María de Nieval	209 Km																																				
Urcos - Quincemil - Puerto Maldonado	487 Km																																				
Puerto Maldonado - Iñapari	244 Km																																				
Cañete - Yauyos - Concepción - Satipo	522 km																																				
Huaura - Oyón - Yanahuanca - Ambo	292 km																																				
Cuyca - Pimpingos	30 km																																				
Corongo - Tauca	46 km																																				
San Ignacio - Chamaya	125 km																																				
Corral Quemado - Río Nieva	175 km																																				
Río Nieva - Tarapoto	235 km																																				
Tarapoto - Tingo María	480 km																																				
San Alejandro -Villa Rica - La Merced	359 km																																				
La Merced - Satipo	123 km																																				
Satipo - Pto. Ocopa - Atalaya	290 km																																				
Nauta - Iquitos - Mazán	160 km																																				

Dos importantes carreteras de penetración han sido previstas para su ejecución entre el 2001 y 2005:

El Corredor - Pto.Salaverry -Trujillo- Huarnachuco -Juanjui	523 km
El Corredor - Chimbote - Sihuas - Uchiza	505 km

Estos proyectos serán materia de solicitudes a fuentes en lo posible de crédito preferencial, con condiciones financieras blandas.

Cusco - Camisea	220 km
San Francisco - Camisea	448 km
Puerto Ocopa - San Francisco	228 km

Caminos Rurales

El programa de caminos rurales reviste gran importancia social, porque está diseñado especialmente para promover la economía de las áreas rurales.

La producción agrícola requiere acceder a los mercados; y la población necesita de servicios sociales. Por eso el programa tiene dos componentes: la rehabilitación de los caminos y la construcción de nuevas vías para integrar zonas agrícolas hoy totalmente aisladas.

Las inversiones en vialidad rural promueven el uso intensivo de la mano de obra y tecnologías locales como la forma más práctica de transferir recursos a la comunidad rural, de manera que se estimule la producción agropecuaria y se facilite su acceso a los mercados; con lo que se contribuye además a elevar su nivel de ingreso.

PROVIAS NACIONAL - Todos los Derechos Reservados
Jr. Zorritos Nº 1203 - Lima 01 - Central Telefónica 315-7800

ANEXO 3

PLAN ESTRATEGICO INSTITUCIONAL 2004-2006

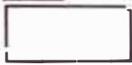
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE
NACIONAL - PROVIAS NACIONAL

Plan Estratégico Institucional
2004 – 2006

Lima. Diciembre 2003

INTRODUCCIÓN	3
MISIÓN	4
VISIÓN	4
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESTRATEGICOS PARCIALES	4
LINEAMIENTOS DE ACCIONES ESTRATÉGICAS	4
POLITICAS	4
ROL ESTRATÉGICO (DE LA INSTITUCIÓN).....	4
DIAGNÓSTICO GENERAL (DE LA INSTITUCIÓN)	4
MATRIZ FODA	4
ACCIONES NECESARIAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS	4
PRIORIDADES	4
PROYECTOS/ACTIVIDADES	4
RECURSOS NECESARIOS PARA CADA AÑO DEL PLAN	4
PRINCIPALES INDICADORES DE DESEMPEÑO	4
RESPONSABLE	4

1. PROGRAMACIÓN MULTIANUAL DE INVERSIÓN 2004 – 2006
2. PROYECTOS DEL PLAN BINACIONAL PERÚ – ECUADOR
3. PROGRAMA CONCESIONES VIALES
4. GRÁFICO DE LOS EJES DE INTEGRACIÓN IIRSA
5. PRESUPUESTO 2003 vs 2004



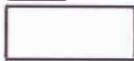
Ministerio de Transporte y Comunicaciones
Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional

PROVIAS NACIONAL es un Proyecto Especial del MTC, creado mediante Decreto Supremo N° 033-2002-MTC del 12.07.2002, Asumió todos los derechos y obligaciones del Programa Rehabilitación de Transportes del Proyecto Especial Rehabilitación Infraestructura de Transportes (PRT-PERT) y del ex SINMAC (Sistema Nacional de Mantenimiento de Carreteras); Cuenta con autonomía técnica, administrativa y financiera; está encargado de la ejecución de proyectos de construcción, mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento de la Red Vial Nacional, con el fin de brindar a los usuarios un medio de transporte eficiente y seguro, que contribuya a la integración económica y social del país.

Considerando las nuevas metas asignadas a PROVIAS NACIONAL y la necesidad de contar con un documento orientador de mediano y largo plazo, la Gerencia de Planificación y Presupuesto ha formulado el Plan Estratégico de la Entidad 2004 - 2006, tomando como marco las orientaciones generales del PEI 2004-2006 del MTC, aprobado mediante R.M. N° 827-2003-MTC/09 de fecha 02.10.03, el Marco Macroeconómico aprobado por el MEF, los convenios de Financiamiento vigentes con el BID, KFW, CAF y JBIC, y los nuevos compromisos internacionales derivados del Convenio Binacional Perú - Ecuador y del IIRSA.

El Plan Estratégico 2004-2006 de PROVIAS NACIONAL contiene aspectos sustanciales como la visión, misión, los valores y principios generales, la definición de los objetivos general, parciales y específicos, los lineamientos estratégicos, políticas, las acciones para el cumplimiento de los objetivos, un diagnóstico de la realidad interna de la Institución y su relación con el medio externo en el cual se desenvuelve, identificando, por un lado las oportunidades y amenazas y, por otro, las fortalezas y debilidades, los proyectos, actividades, el presupuesto de los proyectos, los indicadores de gestión y sus medios de verificación a fin de constituir una herramienta que determine la dirección que debe tener la institución para conseguir sus objetivos de mediano y largo plazo.

Plan Estratégico Institucional 2004 – 2006 – PROVIAS NACIONAL



Plan Estratégico Institucional 2004 - 2006

Construir, mejorar, rehabilitar y mantener en óptimo estado de conservación la red vial nacional, controlando la aplicación de las normas de peaje y pasaje, propiciando la participación del sector privado en la ejecución y mantenimiento de carreteras, utilizando fuentes de financiamiento propias, recursos ordinarios y fuentes de financiamiento interno y externo con el objeto de brindar a los usuarios medios de transporte seguros y eficientes, de acuerdo a las políticas y estrategias sectoriales para contribuir a la integración económica y social del país.

Organismo público de derecho privado con dinámica empresarial y autonomía técnica, administrativa y financiera, con un eficiente sistema de gestión vial que le permite cumplir con sus funciones básicas de rehabilitación, mejoramiento, conservación y control del patrimonio vial, contribuyendo a que el Perú sea un país integrado nacional e internacionalmente.

Dotar de infraestructura vial adecuada para un sistema de transporte eficiente, optimizando el uso de los recursos disponibles en el desarrollo de la conservación de la infraestructura de transportes

Construcción y Mejoramiento de Carreteras

Construir y mejorar vías para la articulación nacional e internacional de acuerdo a la demanda y estrategia y desarrollo del país, promoviendo la inversión privada a través de las concesiones viales.

Conservación de Carreteras

Mantener en buen estado las condiciones de transitabilidad de la red vial nacional, promoviendo la tercerización o participación de la inversión privada.

Rehabilitación de Carreteras

Rehabilitar las carreteras de la red vial nacional, promoviendo la inversión privada.



Ministerio de Transporte y Comunicaciones
Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional

- Dotar de Infraestructura vial adecuada para un sistema de transportes eficiente.
- Privilegiar el mantenimiento de las carreteras rehabilitadas en la Red Vial del país, mejorando progresivamente las condiciones de transitabilidad.
- Fortalecer la capacidad de planeamiento, supervisión y diseño de políticas con horizontes de mediano y largo plazo.
- Modernizar y fortalecer la capacidad institucional, evaluación de proyectos, emisión de normas y reglamentos técnicos.
- Intensificar la estrategia de Tercerización en el mantenimiento vial de las carreteras que conforman la Red Nacional fomentando la creación de pequeñas empresas. El Mantenimiento Periódico a través de la contratación por terceros, quedando por administración directa, los trabajos de prevención, emergencias y transitabilidad. Se tiene previsto la contratación con Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES), como un enfoque estratégico de tercerización progresiva, hasta lograr la participación total del sector privado, en la oferta de servicios de mantenimiento rutinario.
- Atender planificadamente la ejecución de los compromisos, con las organizaciones de la sociedad civil de las regiones.
- Inventario vial, actualización y jerarquización.
- Continuar con el proceso de modernización institucional, revalorizar las funciones del trabajador y privilegiar la atención y satisfacción de los usuarios.
- Modernizar los procesos y los procedimientos administrativos privilegiando la satisfacción de los usuarios.
- Efectuar acciones de control y protección de las vías (pesos y dimensiones).
- Sinceramiento de la tarifa de peaje, proponer la creación de nuevas unidades de peaje para incrementar la recaudación destinada al mantenimiento de las vías.
- Continuar con la ejecución de las obras cofinanciadas con endeudamiento externo, especialmente las que proporcionen una adecuada accesibilidad a la Región de la Selva.
- Emisión de Normas Administrativas, actualizando permanentemente los reglamentos técnicos.

- Continuar con la ejecución de las obras de construcción, rehabilitación y mejoramiento que son cofinanciadas con endeudamiento externo, especialmente las que proporcionen una adecuada accesibilidad a la Región de la Selva.
- Privilegiar el mantenimiento de las carreteras rehabilitadas en la Red Vial Nacional, mejorando progresivamente las condiciones de transitabilidad.
- Sinceramiento de la tarifa de peaje alcanzando la tarifa de equilibrio para el mantenimiento vial.
- Creación de nuevas unidades de peaje para incrementar la recaudación destinada al mantenimiento de las vías alcanzando el número de estaciones de pesaje para un adecuado control vehicular. La implementación y construcción de nuevas Unidades de Peaje y Estaciones de Pesaje deben estar consideradas en los proyectos de construcción, mejoramiento y/o rehabilitación de carreteras.
- Fortalecer la capacidad de planeamiento y diseño de políticas con horizontes de mediano y largo plazo.
- Modernizar y fortalecer la capacidad institucional en formulación y evaluación de proyectos, investigación y desarrollo tecnológico, emisión de normas y reglamentos técnico - administrativos, entre otros aspectos.

Plan Estratégico Institucional 2004 – 2006 – PROVIAS NACIONAL



Ministerio de Transporte y Comunicaciones
Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional

- Actualizar el inventario de carreteras y puentes.
- Efectuar acciones de control y protección de las vías (pesos y dimensión vehicular).
- Intensificar la estrategia de tercerización en el mantenimiento de las carreteras fomentando la creación de pequeñas y medianas empresas, con soporte tecnológico.
- Revalorizar las funciones del trabajador.
- Reforzar la prevención y atención de emergencias viales
- Señalizar adecuadamente las vías y mejorar las condiciones de seguridad
- Mitigar los impactos negativos al medio ambiente en las actividades de PROVIAS NACIONAL.

Satisfacer eficientemente las demandas de servicios de transportes y comunicaciones de la población y sectores productivos, proporcionando y/o promoviendo el desarrollo de la infraestructura y garantizando la prestación competitiva de dichos servicios.

a.- Aspectos Generales

La Red Vial Nacional tiene una longitud de 16,987 Km. de este total esta a cargo de PROVIAS NACIONAL 15,953,35 Km. de los cuales 7,988,47 Km. asfaltados y 7,964,88 Km. afirmados, de acuerdo a la nueva reestructuración de las Unidades Zonales, teniendo en consideración la transferencia efectuada por PROVIAS NACIONAL a PROVIAS DEPARTAMENTAL y viceversa. Se reportan 327 Km. entregados en concesión, 105 Km. a la Empresa CONCAR en Arequipa, hasta mayo del 2006 y 222 Km. a la empresa NORVIAL en Lima por 25 años (desde enero 2003).

La rehabilitación y mejoramiento de los principales corredores longitudinales y transversales del país se vienen ejecutando con fondos procedentes de los Préstamos Internacionales del BID, JBIC, CAF y KFW y de la contrapartida nacional, desde la década pasada. La ejecución de las obras con cargo a estos préstamos están programados hasta el año 2005 y 2006, siendo necesario gestionar nuevos préstamos para continuar con la rehabilitación, mejoramiento y construcción de nuevas vías de la Red Vial Nacional, los que requieren replanteamiento en el trazado y geometría, a fin de adecuarlas a los tráfico actuales y adicionar confiabilidad y seguridad, para lo cual se requieren significativos montos de recursos y que en los próximos años no podrán ser aportados por el Estado, siendo necesario contar con la inversión privada nacional y extranjera, a través de las concesiones y/o nuevas modalidades de financiamiento, las que actualmente se vienen estudiando en el marco de foros de integración regional como el Foro de Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana (IIRSA) (Ver Anexo 4.)

Para afrontar la actividades de mantenimiento de las vías rehabilitadas y mejoradas, PROVIAS NACIONAL utiliza fondos de la recaudación de peajes, para el mantenimiento de carreteras asfaltadas, y recursos ordinarios provenientes del Tesoro Público, para las carreteras afirmadas, recursos de por si son insuficientes, estimándose requerimientos de US\$ 100 Mill. anuales, solo para el mantenimiento de carreteras asfaltadas.

Plan Estratégico Institucional 2004 – 2006 – PROVIAS NACIONAL

 Ministerio de Transporte y Comunicaciones
Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional

En los últimos años se ha efectuado el mantenimiento rutinario de las vías nacionales asfaltadas, no logrando su optimización debido a cambios estructurales en la gestión administrativa, a fin de lograr la Agencia Vial para el mantenimiento, mediante contrataciones por servicios a terceros, por periodos inicialmente planteados de seis a 1 año, con proyecciones a futuro de tres a cuatro años.

PROVIAS NACIONAL viene desarrollando esfuerzos en dirección de la privatización adoptando para el mantenimiento rutinario, la contratación con Microempresas, como un enfoque estratégico de tercerización progresiva, hasta lograr la participación total del sector privado, en la oferta de servicios de mantenimiento rutinario.

b. Mantenimiento Rutinario y Periódico de la Red Nacional

PROVIAS NACIONAL, viene efectuando el mantenimiento rutinario, a través de sus 18 Unidades Zonales a nivel nacional. Estas unidades anualmente preparan un expediente técnico que contiene el presupuesto de los trabajos a desarrollar. Mensualmente efectúan los requerimientos de fondos a utilizar, tanto para pago de mano de obra, como para la adquisición de bienes y servicios, los cuales se desembolsan por requerimientos específicos, y luego de su ejecución se efectúan las rendiciones de los fondos utilizados así como informes de los trabajos ejecutados. La tendencia de realizar estos trabajos de mantenimiento rutinario, es a través de contrataciones con terceros, habiéndose efectuado en el 2002 un proceso de creación de microempresas, constituida con ex trabajadores de las zonales, lográndose una importante ahorro en el pago de pensiones del sector público de 3966 a 963 personas que en la actualidad trabajan para este fin

Asimismo, se viene evaluando la ejecución de estos trabajos tercerizados, por que se han restringido a solo trabajos de mantenimiento rutinario básico, habiéndosele tenido que proveer de equipos y materiales, lo cual convirtió este programa en una contratación de mano de obra.

Pero se estima que debido a la experiencia adquirida de estas microempresas, compilan en un futuro inmediato, como pequeñas empresas y/o contratistas, cuando se demande trabajos de mayor magnitud de Km. de mantenimiento rutinario y mayor tiempo de contratación.

Con respecto al mantenimiento periódico, en el 2002 se efectuó contrataciones para la elaboración de los estudios técnicos, que han servido para efectuar en el 2003, el inicio de las obras de mantenimiento periódico y asimismo, en el 2004 se continuarán con las contrataciones para dicho fin.

En febrero del 2003, se ha recepcionado aproximadamente 5542 Km. de Red Vial Nacional no asfaltada (en virtud de la definición de competencias de la Red Nacional), de Provias Departamental (Ex_Dirección General de Caminos-MTC), con un presupuesto para el 2003 de S/. 7.23 mill., insuficiente para el total requerido de S/. 40.00 mill. por Provias Nacional. Cabe precisar, que con el presupuesto asignado para el 2003, solo ha servido para atender las emergencias viales de está red no asfaltada y otorgar transitabilidad a los sectores críticos.

c.- Tarifa de equilibrio

El objetivo de la tarifa de equilibrio es obtener la cobertura de costos de mantenimiento de la Red Vial Nacional, que requería para en el año 2000 una inversión para el mantenimiento ascendente a US\$ 82.6 millones y por concepto de peaje se recaudó solo US\$ 43.1 millones, importe que cubrió los gastos de

Plan Estratégico Institucional 2004 – 2006 – PROVIAS NACIONAL

Ministerio de Transporte y Comunicaciones
Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional

mantenimiento rutinario, administrativos y una mínima parte del mantenimiento periódico. De acuerdo con los análisis del Banco Mundial, por cada dólar que se deja de invertir en mantenimiento, los costos se incrementan en tres, (información tomada del estudio "Problemática del Transporte y Uso por Infraestructura Vial").

Para alcanzar la tarifa de equilibrio de S/. 5.45 (o de S/. 10.90 para su cobro en un solo sentido del tráfico) en el año 2004, cuyo cálculo se analiza en el acápite 1.3 del estudio "Problemática del Transporte y Cobro por Uso de la Infraestructura Vial", aprobado por R.M. N° 555-2001-MTC/15 02, para mantener la Red Vial en niveles adecuados de serviciabilidad, se deben debiéndose efectuar los siguientes reajustes a partir de la fecha.

A partir del primero de agosto del 2003 la tarifa se encuentra en S/. 7.50, menor en S/. 1.50 a la tarifa planteada para el año 2003.

Se estima que la tarifa de equilibrio de S/. 10.90, podría alcanzarse en el periodo 2004 – 2006. Actualmente se viene evaluando el nuevo valor de la tarifa de peaje para el 2004.

d.- Concesiones Viales

Se viene implementando un programa de concesiones encargada por el Gobierno a PROINVERSION, que tiene por objetivo promover la inversión no dependiente del Estado Peruano, a cargo de agentes bajo régimen privado, con el de otorgar transitabilidad a las vías principales, impulsando el desarrollo sostenible de la Red Vial Nacional.

Las concesiones de la Red Vial N° 05 (Ancón – Pativilca) y la Red Vial N° 06 (Pucusana – Guadalupe), ocasionarán una reducción en la recaudación de aproximadamente 30%, lo cual implicará una reducción del presupuesto necesario para el mantenimiento adecuado de la Red Vial Nacional.

Continuando el programa de concesiones, se ha programado la concesión de las 11 primeras redes viales, lo cual reduciría aún más la recaudación por lo que paralelamente se viene implementando un programa de apertura de nuevas unidades de peaje y pesaje. (Ver Anexo 3).

La Matriz FODA o análisis FODA es un instrumento de Planificación Estratégica importante para definir las fortalezas y debilidades, y las oportunidades y amenazas del entorno o medio ambiente externo de la Entidad, lo que nos permite analizar los hechos y tendencias, elaborar un diagnóstico integral y definir una visión compartida para el logro de los objetivos de la Entidad mediante diseños de estrategias a mediano y largo plazo.

Con los aportes de la Gerencias, que forman parte estructural de Provias Nacional, se ha determinado la siguiente Matriz que a continuación se detalla.

ANEXO 4

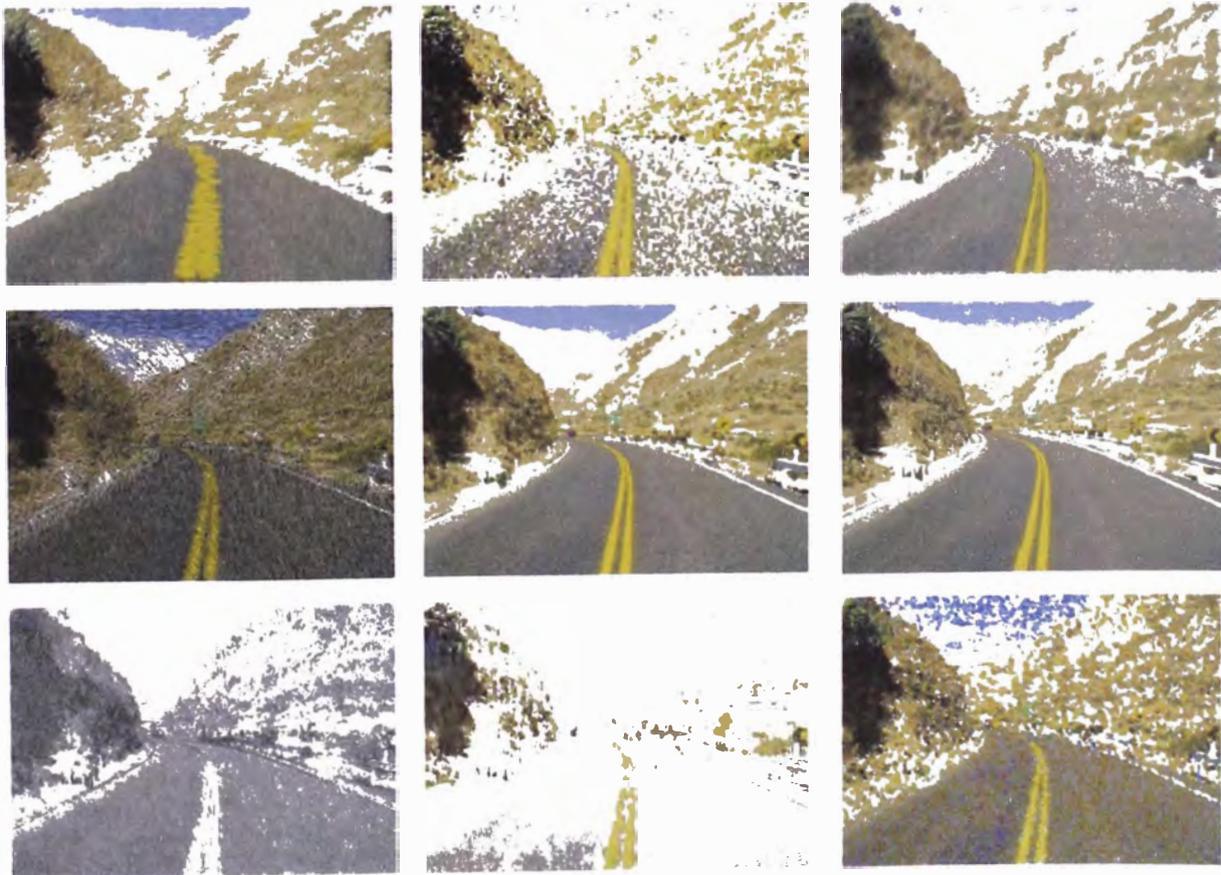
PROGRAMA QUINQUENAL 2006-2010 DEL SISTEMA DE GESTION DE INFRAESTRUCTUTURA VIAL



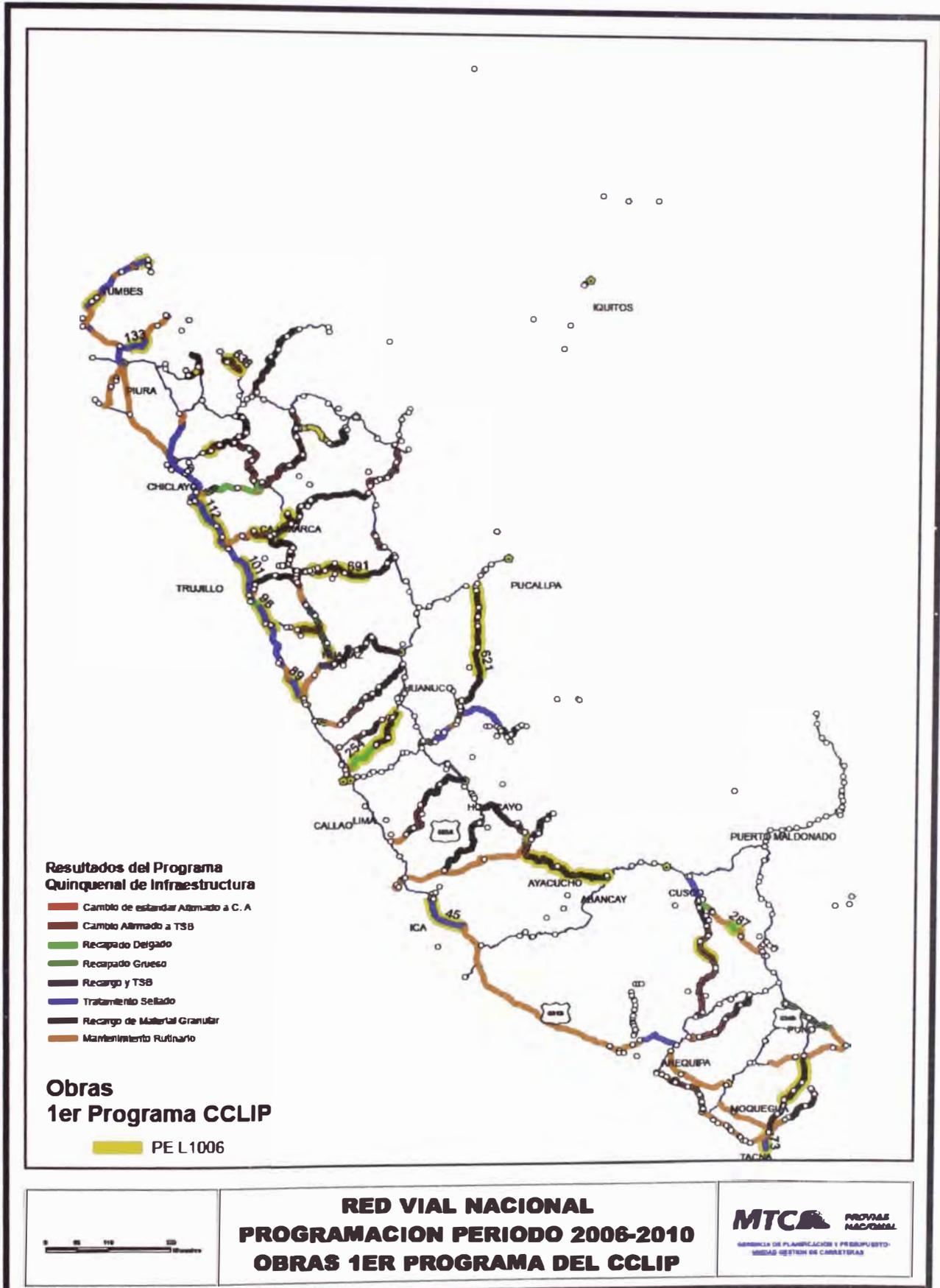
MINISTERIO DE
TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

PROVIAS NACIONAL
Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional

PROGRAMA QUINQUENAL 2006-2010
DEL SISTEMA DE GESTIÓN
DE INFRAESTRUCTURA VIAL



Gerencia de Planificación y Presupuesto



PROGRAMA QUINQUENAL DE ACTIVIDADES

Índice

1	INTRODUCCIÓN	2
2	METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL PROGRAMA QUINQUENAL DE OBRAS	4
2.1	Metodología para Carreteras.....	4
2.1.1	Consideraciones generales de la metodología utilizada	4
2.1.2	Estándares de diseño, conservación y conformación de estrategias. ..	6
2.1.3	Costos de obras y mantenimiento	6
2.1.4	Diseño de Estándares de Conservación y Mejoras.....	6
2.2	Metodología para Puentes	8
2.3	Metodología para Infraestructura de Seguridad Vial	10
2.4	Metodología para Emergencias Viales	11
3	DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN.....	12
3.1	Diagnóstico para Carreteras	12
3.1.1	Red Pavimentada.....	13
3.1.2	Red No Pavimentada (Afirmada).....	16
3.2	Diagnóstico de Puentes.....	18
3.3	Diagnóstico de Infraestructura de Seguridad Vial.....	20
3.4	Diagnóstico de Emergencias Viales	22
4	ESCENARIOS PRESUPUESTALES	23
4.1	Escenarios presupuestales de Carreteras	23
4.1.1	Descripción y determinación de los Escenarios de Inversión.....	23
4.1.2	Consideraciones para la elección del Escenario de Inversión	24
4.1.3	Indicadores Inversión del Escenario Óptimo	27
4.1.4	Evolución de la rugosidad de la red analizada	32
4.2	Escenario presupuestal de Puentes	36
4.3	Escenario presupuestal de Infraestructura de Seguridad Vial	38
4.4	Escenarios presupuestales de Emergencias Viales	39
4.5	Resumen de Escenarios presupuestales	40
4.6	Programa de Obras	42

2 METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL PROGRAMA QUINQUENAL DE OBRAS

El diseño de la propuesta presupuestal tiene por objetivo establecer los requerimientos de inversión en obras y mantenimiento en la Red Vial Nacional que estará gestionada por Provias Nacional en los próximos cinco años.

Las labores se desarrollaron para las áreas de Carreteras, Puentes, Infraestructura de Seguridad Vial y Emergencias Viales.

El grado de sofisticación y precisión de los procedimientos fue determinado por los recursos de información disponibles en cada una de las áreas.

2.1 Metodología para Carreteras

Las labores realizadas han consistido en el análisis técnico - económico de la red vial gestionada por Provias Nacional, con el objetivo de elaborar un Programa Quinquenal de Actividades para el periodo 2006 – 2010.

El costo de transporte carretero está vinculado al estado que presenta la infraestructura vial, en consecuencia a las prácticas de conservación en dicha infraestructura. Por tal motivo resulta fundamental desarrollar un procedimiento que incluya un análisis técnico - económico de la red vial de carreteras, que defina políticas adecuadas de conservación de forma de maximizar los beneficios netos de la sociedad y minimizar los costos globales del transporte.

Para el cumplimiento de los objetivos ha sido utilizando el Modelo HDM 4, sin lugar a dudas la mejor herramienta disponible para tales fines, asimismo se han confrontado los resultados de las modelaciones realizadas con la opinión de ingenieros dependientes de la Gerencia de Mantenimiento para validar la racionalidad y consistencia de las alternativas de obras propuestas.

2.1.1 Consideraciones generales de la metodología utilizada

Análisis Técnico Económico

La evaluación económica permite seleccionar entre un grupo de proyectos, aquel que resulte más ventajoso desde el punto de vista económico a través de indicadores que reflejan el resultado de flujo de costos y beneficios cuantificados en unidades monetarias.

El objetivo principal del estudio es analizar proyectos que atenderán a las mejoras y conservación de los caminos existentes.

En virtud a lo anterior, la metodología a emplear en la evaluación económica será la denominada "excedentes del consumidor", cuantificando los beneficios que genera el proyecto frente a una alternativa "base" especificada.

Los beneficios son determinados por los ahorros que genera el proyecto en los costos de operación de los vehículos, los costos que surgen del tiempo empleado en el viaje y los ahorros en mantenimiento.

El modelo HDM 4 permite calcular los costos totales del transporte, considerando los costos de inversión en infraestructura que debe afrontar el organismo vial y los costos de operación vehiculares. Estos costos se obtienen anualmente para diferentes "alternativas de conservación" que son comparados con "alternativas base", permitiendo de ese modo la selección de una alternativa respecto a otra

SGIV

GPP-Provías Nacional MTC

El Modelo calcula internamente las velocidades y los costos de operación vehiculares así como también los deterioros y costos de conservación de los caminos en función de: el diseño del camino, las prácticas de conservación, el volumen del tráfico, las cargas por eje de los vehículos y las condiciones ambientales.

Los costos totales de conservación y de operación de los vehículos son calculados sobre la base de las cantidades físicas y precios unitarios especificados, determinando los costos financieros y económicos requeridos por el modelo.

Beneficios del Proyecto

Los beneficios que generan los proyectos derivan de los ahorros en los costos de operación vehicular, tiempo empleado en el viaje y el mantenimiento del vehículo así como de la disminución de las intervenciones en la carretera.

Costos de operación

Los costos de operación se obtienen del modelo HDM 4 y son función del tipo y estado de la superficie, del diseño geométrico y de las características de los vehículos.

Los costos de operación de los vehículos incluyen: costos de recorrido (combustible, aceites, neumáticos, repuestos y mano de obra de mantenimiento) y costos anuales fijos (depreciación, intereses, costos de tripulación y costos de administración).

Los costos anteriores son calculados para los diferentes tipos de vehículos que componen el tránsito en cada año.

Los beneficios surgen de la disminución de los costos de operación de la alternativa evaluada frente a la alternativa base.

Tiempo de viaje

Puesto que los proyectos planteados mejoran la condición de la superficie del tramo, existirá un aumento de la velocidad de circulación, lo que implica un menor tiempo de viaje.

Estos ahorros serán diferentes para cada tipo de vehículo debido a que desarrollan distintas velocidades y actividades económicas.

El cálculo del costo por tiempo de viaje consiste en determinar el costo / pasajero-hora clasificando los motivos del viaje en dos categorías: trabajo y ocio. Para el caso de trabajo el costo se estima de acuerdo a los ingresos medios de los pasajeros y para el caso de ocio un 50% del anterior.

Mantenimiento

Los ahorros en mantenimiento surgen al especificar alternativas de conservación, determinar los costos de mantenimiento para esas alternativas y comparar los mismos con los costos de mantenimiento de la política base definida en cada caso.

Indicadores Económicos

El flujo de costos y beneficios anuales para las diferentes políticas de conservación evaluadas respecto a la alternativa base permiten obtener los indicadores de rentabilidad que se utilizarán en el estudio: Valor Actual Neto (VAN) descontado a una tasa prefijada y Tasa Interna de Retorno (TIR).

La tasa de descuento usada para proyectos de inversión representa el costo de oportunidad del capital, definido como la rentabilidad de una inversión alternativa a la que se renuncia para invertir en el proyecto que se está considerando, la tasa adoptada en el Perú para proyectos de inversión pública es del 14% anual en dólares americanos sin inflación.

2.1.2. Estándares de diseño, conservación y conformación de estrategias

En el transcurso de la elaboración del Programa Quinquenal de Actividades se realizaron sucesivos ajustes en el diseño de los estándares y en la conformación de las estrategias de modo de retroalimentar al modelo HDM 4 para obtener mejores resultados. Los resultados finales se indican en forma clara en el cuadro 1.

2.1.3 Costos de obras y mantenimiento

Los costos de las obras y el mantenimiento determinan el monto de la inversión que se hará en la red vial, por tal motivo resulta un aspecto crítico por lo cual se ha tenido especial consideración

La elaboración de los costos estuvo a cargo de la Gerencia de Mantenimiento cuyo personal realizó el cálculo del precio unitario de cada estándar de diseño, conservación y mejora para cada tipo de zona climática (Costa, Sierra y Selva) en coordinación con la Gerencia de Planificación y Presupuesto.

En estos procesos fue tenido muy en cuenta los criterios y procedimientos adoptados por el Plan Intermodal de Transporte (PIT) así como el estudio de la empresa BECOM respecto a los precios de estándares de diseño y mantenimiento rutinario para carreteras asfaltadas y afirmadas

Los resultados de los costos financieros y económicos para cada estándar de conservación, cada estándar de mejora y mantenimiento rutinario (discriminados por zona climática) se presentan en el cuadro 2.

2.1.4 Diseño de Estándares de Conservación y Mejoras

Estándar de conservación

Los estándares de conservación logran el efecto de una mejora superficial traducido en una mejor circulación y confort al usuario, logrando disminuir la rugosidad del camino y por lo tanto los costos de operación.

Estándar de Mejora

Los estándares de mejora a diferencia que los de conservación, aportan adicionalmente a la mejora superficial una mejora en la geometría con respecto a la velocidad límite y factores de reducción de velocidad, sección transversal, clase de carretera, diseño del pavimento, relación velocidad / capacidad y modelo de tráfico. Si bien son obras de mayor inversión logran un mayor beneficio en los costos de operación, que puede justificar para un nivel de tránsito mayor a 400 de IMDA un cambio de estándar de Afirmado a Tratamiento bituminoso y con un nivel de tránsito > 1000 IMDA una mejora a superficie de carpeta asfáltica.

3 DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN

Para cada una de las áreas consideradas en la elaboración del Programa Quinquenal de Actividades 2006 – 2010 (Carreteras, Puentes, Infraestructura de Seguridad Vial y Emergencias Viales) se realizó un diagnóstico en función de la información disponible, el mismo permite visualizar la infraestructura que ha sido evaluada y la condición de la misma.

3.1 Diagnóstico para Carreteras

La Red Vial Nacional tiene una longitud de 17,158 kilómetros de carreteras, de los cuales 8521 se encuentran pavimentadas (según el inventario vial efectuado por TNM en el año 2004), los mismos son equivalentes a 9.024 Km. de calzada, de los cuales se encuentran 8526 km con la información completa. Los restantes 8.134 Km. de carreteras están compuestos por 6.305 Km. de carreteras no pavimentadas que constituyen la red afirmada, cuya información se encuentra en una Base de Datos confeccionada para la elaboración del Plan Intermodal de Transporte (PIT). Luego de analizar la información de dicha base se determinó (con el visto bueno de la UGC) que 1.829 Km. no serán tenidas en cuenta en el análisis técnico económico de la Red, por tratarse de carreteras inexistentes, constituidas por caminos intransitables con proyecto de obra nueva en estudio en algunos casos, también se encuentran casos en los cuales está prevista la pavimentación para el año 2006.

Por lo expuesto anteriormente la Red Vial ingresada con la información completa al modelo HDM4, está compuesta por 575 tramos con una longitud de 14.832 Km., de los que no se tuvo en cuenta los tramos que actualmente y a corto plazo se gestionarán bajo la modalidad de Concesión (a excepción de las Redes 1 y 4) y los comprometidos en el presupuesto 2006, dicho criterio fue acordado y determinado indicados en forma explícita por Provías Nacional.

Con las consideraciones anteriores la Red Vial Nacional sobre la cual se realizó el análisis técnico económico para la determinación de las prioridades de intervención bajo distintos escenarios de inversión, esta compuesta por 428 tramos con una longitud de 10.609 Km.

En el Cuadro 4 se presenta con más detalle la composición de la red anteriormente referida.

Cuadro 4

Red Afirmada				
Datos	Concesionada (*)	Comprometida 2006	Evaluada con HDM 4	Total general
Longitud (Km)	424,7	0,0	5.880,8	6.305,5
Longitud (%)	6,7%	0,0%	93,3%	100,0%
Cant. De tramos	17	0	235	252
Red Asfaltada				
Datos	Concesionada (*)	Comprometida 2006	Evaluada con HDM 4	Total general
Longitud (km)	3.737,2	60,5	4.728,5	8.526,3
Longitud (%)	43,8%	0,7%	55,5%	100,0%
Tramos	127	3	193	323
Red Total				
Datos	Concesionada (*)	Comprometida 2006	Evaluada con HDM 4	Total general
Longitud (Km)	4.161,9	60,5	10.609,4	14.831,8
Longitud (%)	28,1%	0,4%	71,5%	100,0%
Cant. De tramos	144	3	428	575

(*) Incluye aquellos localizados en redes en proceso de concesión

3.1.1 Red Pavimentada

Dentro de los 8.526 Km. de red pavimentada con la información completa y transferida a la base de datos del Modelo HDM 4, se tomaron en cuenta en el análisis técnico económico que determina las prioridades de inversión para el período 2006 – 2010 las carreteras gestionadas por Provias Nacional en ese mismo período, las cuales constituyen 193 tramos con una longitud de 4.728,5 Km.

Analizada la información para la red asfaltada gestionada por Provias Nacional se determinó el estado de las vías para diferentes combinaciones de: "Categoría de Tránsito", "Tipo de Firme" y "Categoría de Ejes equivalentes".

Para las Categorías de tránsito se tomaron los cinco rangos definidos por la consultoría de la empresa BCEOM, estos son:

- Categoría 1: entre $0 < \text{IMDA} \leq 150$
- Categoría 2: entre $150 < \text{IMDA} \leq 400$
- Categoría 3: entre $400 < \text{IMDA} \leq 1000$
- Categoría 4: entre $1000 < \text{IMDA} \leq 2000$
- Categoría 5: entre $\text{IMDA} > 2000$

Con respecto al tipo de firme de la red asfaltada se distinguen los siguientes:

- CA = Carpeta asfáltica
- TB = Tratamiento bituminoso

Las categorías de ejes equivalentes se definen de acuerdo a los ejes equivalentes en un período de 10 años los siguientes cuatro rangos.

- Categoría Ejes Eq. 1 (E1): $0 < \text{Ejes Eq.} \leq 2.000.000$
- Categoría Ejes Eq. 2 (E2): $2.000.000 < \text{Ejes Eq.} \leq 4.000.000$
- Categoría Ejes Eq. 3 (E3): $4.000.000 < \text{Ejes Eq.} \leq 6.000.000$
- Categoría Ejes Eq. 4 (E4): $\text{Ejes Eq.} > 6.000.000$

Para la rugosidad se adoptó la siguiente clasificación:

- estado bueno: $0 < \text{rugosidad} \leq 2,8 \text{ IRI}$
- estado regular: $2,8 < \text{rugosidad} \leq 4 \text{ IRI}$
- estado malo: $4 < \text{rugosidad} \leq 5 \text{ IRI}$
- estado muy malo: $\text{rugosidad} > 5 \text{ IRI}$.

Cabe realizar dos consideraciones importantes:

La rugosidad no es el único parámetro útil en la determinación del estado de los pavimentos, pero si el utilizado en la modelación para establecer relación con el costo de operación vehicular de los vehículos, y por lo tanto es guarda relación directa con el impacto en la economía del transporte.

Los rangos establecidos están relacionados con el estándar de servicio esperado, por lo cual en diferentes circunstancias pueden adoptarse diferentes rangos de rugosidad para calificar el estado de la red.

Quadro 5

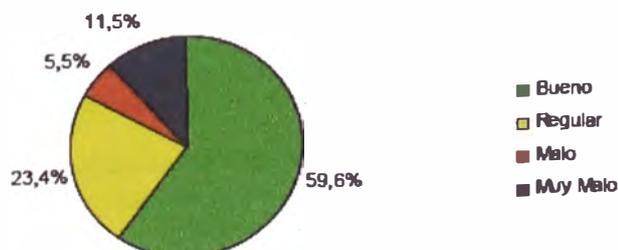
Estado de la Red Asfaltada por Grupo Estrategia según su rugosidad							
Grupo Estrategia	Datos	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	Total general	Longitud (%)
CAT1	Longitud (Km)	182,3	34,8	54,6	30,4	302,1	6,4%
	Longitud %	60,4%	11,5%	18,1%	10,1%	100,0%	
CAT2	Longitud (Km)	583,0	249,3	90,8	249,9	1.173,0	24,8%
	Longitud %	49,7%	21,3%	7,7%	21,3%	100,0%	
CAT3E2	Longitud (Km)	395,7	55,1	10,2	35,2	496,2	10,5%
	Longitud %	79,7%	11,1%	2,1%	7,1%	100,0%	
CAT3E3	Longitud (Km)	832,3	293,8	56,3	217,6	1.400,0	29,6%
	Longitud %	59,5%	21,0%	4,0%	15,5%	100,0%	
CAT3E4	Longitud (Km)	123,8	191,6	0,0	0,0	315,4	6,7%
	Longitud %	39,3%	60,7%	0,0%	0,0%	100,0%	
CAT4E4	Longitud (Km)	413,9	123,8	0,0	0,0	537,7	11,4%
	Longitud %	77,0%	23,0%	0,0%	0,0%	100,0%	
CAT5E4	Longitud (Km)	204,4	0,0	0,0	12,0	216,4	4,6%
	Longitud %	94,5%	0,0%	0,0%	5,5%	100,0%	
TBT1	Longitud (Km)	0,0	12,9	0,0	0,0	12,9	0,3%
	Longitud %	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%	
TBT2	Longitud (Km)	0,0	103,4	37,2	0,0	140,5	3,0%
	Longitud %	0,0%	73,6%	26,4%	0,0%	100,0%	
TBT3E3	Longitud (Km)	72,0	0,0	12,6	0,0	84,6	1,8%
	Longitud %	85,1%	0,0%	14,9%	0,0%	100,0%	
TBT4E4	Longitud (Km)	10,0	39,8	0,0	0,0	49,8	1,1%
	Longitud %	20,1%	79,9%	0,0%	0,0%	100,0%	
Total Longitud (Km)		2.817,5	1.104,4	261,6	545,1	4.728,5	100,0%
Total Longitud %		59,6%	23,4%	5,5%	11,5%	100,0%	

El cuadro 5 ilustra sobre los kilómetros y porcentajes existentes en cada grupo- estrategia establecido por los parámetros mencionados anteriormente (por ejemplo CAT4E4 es pavimento de carpeta asfáltica, con tránsito categoría 4 y ejes equivalentes categoría 4).

Para cada grupo-estrategia se aplicó la comparación de distintas estrategias contra una alternativa base como se indicara en el cuadro 1, lo que permitió determinar los distintos indicadores económicos utilizados en la evaluación económica.

En la figura 1 se aprecia la distribución de la red según su estado en determinado función de la rugosidad.

Figura 1
 Estado de la Red Asfaltada según rugosidad



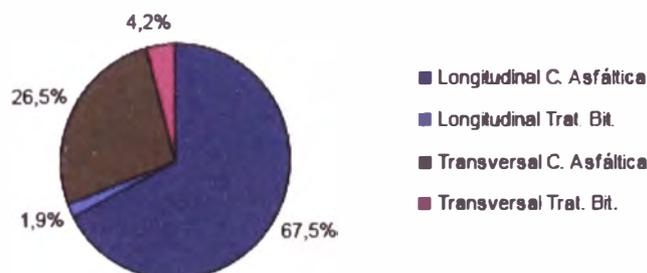
Del Cuadro 5 resulta que el 83 % de la red asfaltada se encuentra en estado bueno y regular, lo que indica una estabilidad importante en la condición de las carreteras analizadas.

El cuadro 6 y la figura 2 muestran que el 94 % de la red asfaltada en estudio esta compuesta por carreteras longitudinales y transversales de carpetas asfálticas, siendo el 6% restante de tratamiento bituminoso.

Cuadro 6

Estado de la Red Asfaltada por clase de carretera según su rugosidad							
Clase de carretera	Datos	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	Total general	% Clase
Longitudinal C. Asfáltica	Longitud (Km)	2.173,1	709,8	42,5	264,1	3.189,6	67,2%
	Longitud %	68,1%	22,3%	1,3%	8,3%	100,0%	
Longitudinal Trat. Bit.	Longitud (Km)	59,6	31,4			91,0	1,9%
	Longitud %	65,5%	34,5%	0,0%	0,0%	100,0%	
Transversal C. Asfáltica	Longitud (Km)	562,4	238,5	169,4	280,9	1.251,2	26,4%
	Longitud %	44,9%	19,1%	13,5%	22,5%	100,0%	
Transversal Trat. Bit.	Longitud (Km)	22,4	124,6	49,8		196,8	4,1%
	Longitud %	11,4%	63,3%	25,3%	0,0%	100,0%	
Total Longitud (Km)		2.817,5	1.119,0	261,6	545,1	4.743,2	
Total Longitud %		59,4%	23,6%	5,5%	11,5%	100,0%	

Figura 2
Red Asfaltada por Clase de Carretera



Dentro de las carreteras longitudinales de carpeta asfáltica (que son por lo general las de mayor tránsito) el 68% se encuentra en buen estado (ver figura 3).

La condición de la red de carpeta asfáltica longitudinal y transversal se ilustra en las figuras 3 y 4. Esta fase de diagnóstico preliminar resulta importante para orientar respecto a las estrategias a definir para cada grupo – estrategia.

Figura 3
Estado de la Red Asfaltada Longitudinal de Carpeta
asfáltica según rugosidad

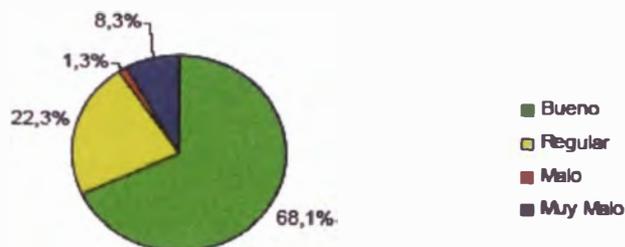
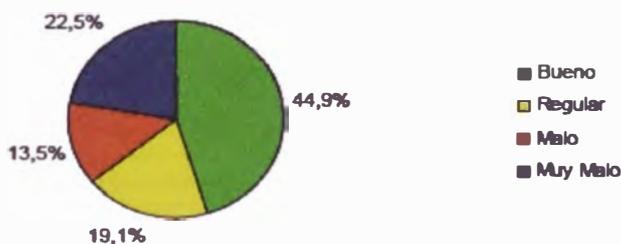


Figura 4
Estado de la Red Asfaltada Transversal de Carpeta
asfáltica según rugosidad



3.1.2 Red No Pavimentada (Afirmada)

Dentro de los 6.305 Km. de red no pavimentada ingresados a la base de datos del Modelo HDM 4, se tomaron en cuenta en el análisis técnico económico únicamente las carreteras que serán gestionadas por Provias Nacional, las cuales constituyen 235 tramos con una longitud de 5.880,8 km.

Fue analizada la información para la red afirmada al año 2004 en relación a distintos parámetros e índices, en el cuadro 7 se presenta el estado de la red afirmada con respecto al índice de Rugosidad en relación a categoría de tránsito y región climática.

Se han definido los límites para el índice de rugosidad de la siguiente manera:

- Bueno ≤ 6 IRI
- Regular entre 6 y 8 IRI
- Malo entre 8 y 10 IRI
- Muy Malo ≥ 10 IRI

Con referencia a la categoría de tránsito se adoptaron idénticos criterios que para la red pavimentada:

- Categoría 1: entre $0 < \text{IMDA} \leq 150$

SGIV

GPP-Provias Nacional – MTC

- Categoría 2: entre $150 < \text{IMDA} \leq 400$
- Categoría 3: entre $400 < \text{IMDA} \leq 1000$
- Categoría 4: entre $1000 < \text{IMDA} \leq 2000$

La zonas climáticas se identificaron cada una con las siguientes letras:

- Costa – C
- Sierra – S
- Selva – M

Cuadro 7

Estado de la Red Afirmada por Grupo Estrategia según su rugosidad							
Grupo Estrategia	Datos	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	Total general	Grupo
AFT1C	Longitud (km)		52,9	47,0	29,9	129,8	2,2%
	Longitud (%)	0,0%	40,8%	36,2%	23,0%	100,0%	
AFT1M	Longitud (km)	12,0	199,3	703,6	162,5	1.077,4	18,3%
	Longitud (%)	1,1%	18,5%	65,3%	15,1%	100,0%	
AFT1S	Longitud (km)	1,5	1.231,9	1.803,3	237,2	3.073,9	52,3%
	Longitud (%)	0,0%	40,1%	52,2%	7,7%	100,0%	
AFT2C	Longitud (km)			75,2		75,2	1,3%
	Longitud (%)	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%	
AFT2M	Longitud (km)		119,1	108,9		228,0	3,9%
	Longitud (%)	0,0%	52,2%	47,8%	0,0%	100,0%	
AFT2S	Longitud (km)	75,2	238,5	490,7	161,0	965,4	16,4%
	Longitud (%)	7,8%	24,7%	50,8%	16,7%	100,0%	
AFT3C	Longitud (km)		43,8			43,8	0,7%
	Longitud (%)	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%	
AFT3M	Longitud (km)			3,1		3,1	0,1%
	Longitud (%)	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%	
AFT3S	Longitud (km)	73,1	43,4	118,1	25,2	259,8	4,4%
	Longitud (%)	28,1%	16,7%	45,5%	9,7%	100,0%	
AFT4C	Longitud (km)		21,4	3,2		24,6	0,4%
	Longitud (%)	0,0%	87,1%	12,9%	0,0%	100,0%	
Total Longitud (km)		161,8	1.950,4	3.153,0	615,7	5.880,8	100,0%
Total Longitud (%)		2,8%	33,2%	53,6%	10,5%	100,0%	

En el cuadro 7 se puede apreciar los kilómetros y % existentes en cada grupo establecido en función de los parámetros mencionados anteriormente, a los cuales se aplicará la comparación de distintas estrategias que serán comparadas con una alternativa base determinando de esta forma los distintos indicadores económicos.

Figura 5
 Estado de la Red Afirmada según rugosidad

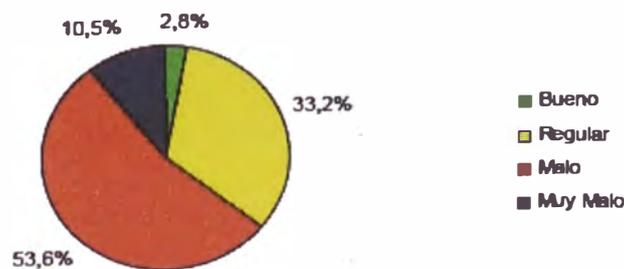


Figura 6
Red Afirmada por región climática

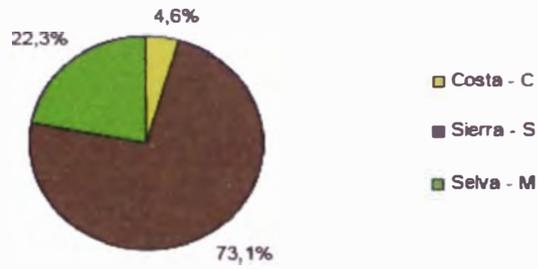
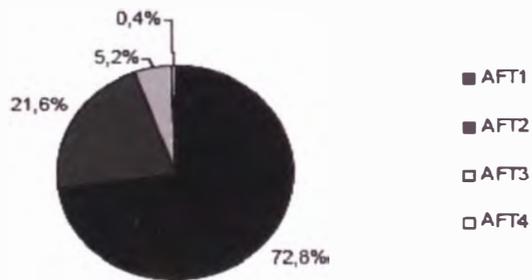


Figura 7
Red Asfaltada por Clase de Carretera



ANEXO 5

FICHAS PARA EL MONITOREO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS PLANTAS DE ASFALTO

CUESTIONARIO PARA EL MONITOREO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA PLANTA DE ASFALTO

1. Entidad o Empresa: _____ 2. Registro N°. _____
3. Fabricante del Secador/Mezclador de Agregados: _____
4. Modelo Número: _____ 5. Fecha de Fabricación/Construcción: _____
6. Capacidad Máxima de Planta: _____ tons por hora producidas de mezcla asfáltica en caliente
7. Tipo de Planta: Batch Plant Tambor Mezclador de Flujo Paralelo Tambor Mezclador de Contraflujo
 Tambor Mezclador Double Barrel Tambor Mezclador Triple Drum
8. Requerimiento Máximo de Producción Anual: _____ (Nota: Este valor puede ser usado para establecer límites permisibles.)
_____ tons de mezcla asfáltica en caliente por año
9. Equipo de Control: (si es necesario usar hojas adicionales.)
 Equipo de Control Adicional:
Lote N° : _____ Tipo de Control: Cámara de Filtros/Baghouse Lavador de Húmedos/ Scrubber Eficiencia del Control : _____ %
Puntos de Emisión Controlados: _____
- Lote N° : _____ Tipo de Control: Cámara de Filtros/Baghouse Lavador de Húmedos/ Scrubber Eficiencia del Control : _____ %
Puntos de Emisión Controlados: _____
- Lote N° : _____ Tipo de Control: Cámara de Filtros/Baghouse Lavador de Húmedos/ Scrubber Eficiencia del Control : _____ %
Puntos de Emisión Controlados: _____
- Otros Controles (Lote N°, Tipo y Eficiencia del Control) : _____
Puntos de Emisión Controlados: _____

10. ¿Existe un Secador de Agregados en la Cantera? Si No _____ (Btu/hr Capacidad máx de ingreso de calor)
Combustibles : (Verificar y comparar el tipo de combustible, consumo, e información contenida, donde fuera aplicable) Lote N° : _____

- Gas Natural Consumo Máximo Anual: ___ M³ por año
 N° 1 o N° 2 Derivados de Petróleo Consumo Máximo Anual: ___ Galones por año
 Otros: _____ Contenido de calor: _____ Btu por _____ (unidades)
Cantidad Máxima Usada de Combustible _____ (unidades): _____ @ _____ % Sulfuros
(Nota: Este valor puede ser usado para establecer límites permisibles.)

11. ¿El Almacenamiento del Asfalto Líquido en Tanque con Calentador se realiza en Cantera? Si No _____ (Btu/hr Capacidad máx de ingreso de calor)
Combustibles : (Verificar y comparar el tipo de combustible, consumo, e información contenida, donde fuera aplicable) Lote N° : _____

- Gas Natural Consumo Máximo Anual: _____ M³ por año
 N° 1 o N° 2 Derivados de Petróleo Consumo Máximo Anual: _____ Galones por año
 Otros: _____ Contenido de calor: _____ Btu por _____ (unidades)
Cantidad Máxima Usada de Combustible _____ (unidades): _____ @ _____ % Sulfuros
(Nota: Este valor puede ser usado para establecer límites permisibles.)

12. ¿La Energía para las Operaciones de la Planta será suministrada por un Generador? Si No

Si es afirmativo, la capacidad es: _____ HP _____ KW _____ (Btu/hr Capacidad máx de ingreso de calor)

Si es afirmativo, como es usado: Regularmente Siempre Solo en casos de Emergencia

Combustibles : (Verificar y comparar el tipo de combustible, consumo, e información contenida, donde fuera aplicable) Lote N° : _____

Gas Natural Consumo Máximo Anual: _____ M³ por año _____

N° 1 o N° 2 Derivados de Petróleo Consumo Máximo Anual: _____ Galones por año

Otros: _____ Contenido de calor: _____ Btu por _____ (unidades)
 Cantidad Máxima Usada de Combustible _____ (unidades): _____ @ _____ % Sulfuros
 (Nota: Este valor puede ser usado para establecer límites permisibles.)

13. ¿Tendrá la Planta, Silos para Almacenar Mezcla Asfáltica en la Zona de Producción? Si No Si es afirmativo, completar la información:

Silo N°. _____ Lote N°. _____ Capacidad del Silo _____ Consumo Máximo Anual Esperado de Mezcla en Caliente del Silo _____
 _____ tons _____ tons por año

(Nota: Este valor puede ser usado para establecer límites permisibles.)

14. Existen Calentadores de Mezcla en los Silos de Almacenamiento? Si No _____ (Btu/hr Capacidad máx de ingreso de calor)

Combustibles : (Si es afirmativo, lista de tipos de combustibles, consumo total, y contenido de calor.) Lista de Lotes N°. _____

Gas Natural Contenido de Calor: _____ Btu por M³
 Consumo Máximo Total Anual de Gas Natural _____ M³ por año

N° 1 o N° 2 Derivados de Petróleo Contenido de Calor: _____ Btu por galones
 Consumo Máximo Total Anual de Petróleo _____ Galones por año

Otros: _____ Contenido de Calor: _____ Btu por _____ (unidades)
 Cantidad Máxima Anual Usada de Combustible: _____ (unidades) por año _____ @ _____ % de Sulfuros
 (Nota: Este valor puede ser usado para establecer límites permisibles.)

15. ¿Tendrá la Planta, Silos para Almacenar Filler en la Zona de Producción? Si No Lote N° : _____

Si es afirmativo, qué capacidad tiene el silo? _____ tons de filler

Si es afirmativo, cual es el máximo consumo anual de filler? _____ tons of filler por año

(Nota: Este valor puede ser usado para establecer límites permisibles.)

16. ¿Tendrá la Planta, un Chancadora para Pavimento de Asfalto Recuperado (RAP) en Si No Lote N° : _____
la Zona de Producción?

¿Si es afirmativo, qué capacidad tiene la chancadora? _____ tons de RAP por hora

Si es afirmativo, cual es el máximo consumo anual de RAP? _____ tons de RAP por año

Si es afirmativo, incluir información adicional de la chancadora datos de construcción, fabricación, etc.

(Nota: Este valor puede ser usado para establecer límites permisibles.)

17. ¿Existe combustible o Líquidos Orgánicos Volátiles almacenados en Tanques de más de 10,000 galones de Si No
Capacidad en la Zona de Producción?

Tanque N°. _____ Enterrado Sobre el suelo Contenido: _____ otros

Volumen o Capacidad del Tanque: _____ galones Consumo Anual : _____ galones por año

Tanque N°. _____ Enterrado Sobre el suelo Contenido: _____ otros

Volumen o Capacidad del Tanque: _____ galones Consumo Anual : _____ galones por año

(Nota: Este valor puede ser usado para establecer límites permisibles.)

18. En caso de modificación de la planta, incluir en la lista la tasa promedio anual de emisiones del último período consecutivo de 24 meses.

Particulate Matter (PM) _____ tons por año. (utilizar apéndices para los cálculos y aplicaciones.)

Particulate Matter con diámetro promedio < 10
micrones (PM₁₀) _____ tons por año. (utilizar apéndices para los cálculos y aplicaciones.)

Sulfur Oxides (SO₂) _____ tons por año. (utilizar apéndices para los cálculos y aplicaciones.)

Nitrogen Oxides (NO_x) _____ tons por año. (utilizar apéndices para los cálculos y aplicaciones.)

Carbon Monoxide (CO) _____ tons por año. (utilizar apéndices para los cálculos y aplicaciones.)

Volatile Organic Compounds (VOC_s) _____ tons por año. (utilizar apéndices para los cálculos y aplicaciones.)

19. Programa de Operación Normal del Equipo:

_____ Horas por Día
_____ Horas por semana
_____ Horas por Año

20. Porcentaje Anual de Producción por Estación:

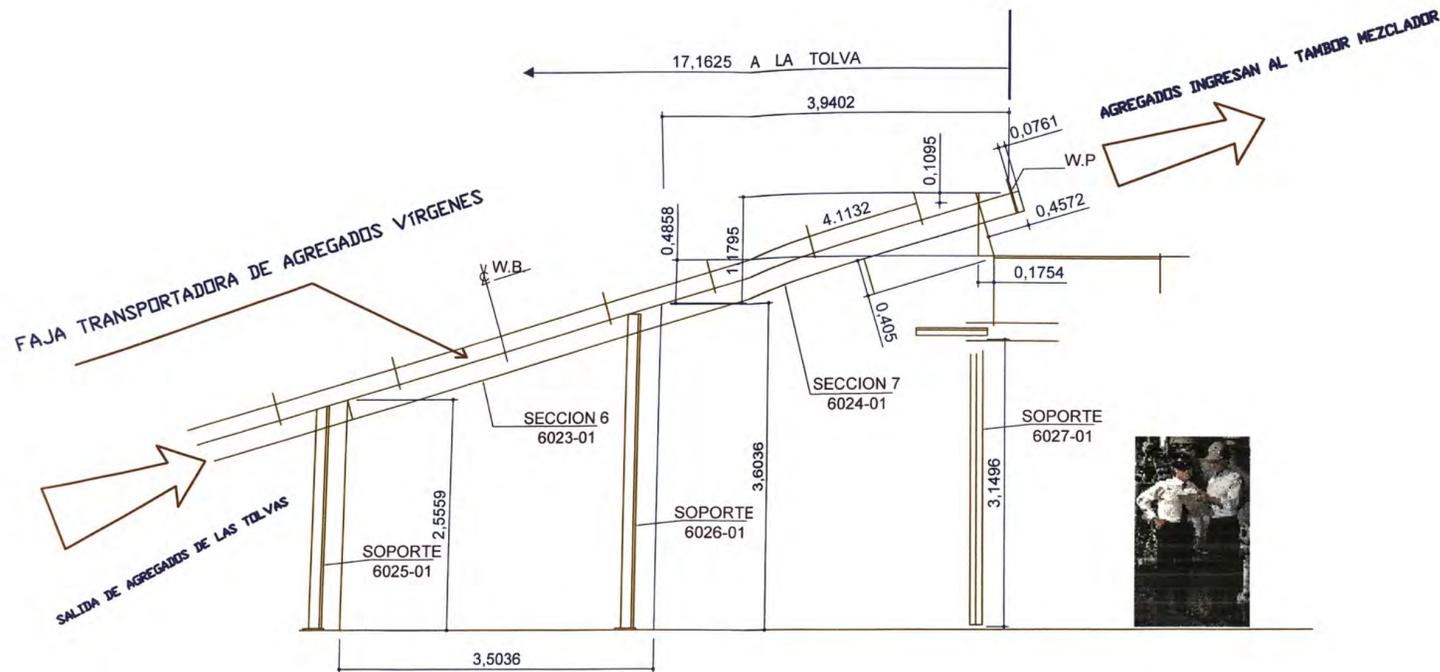
Diciembre hasta Febrero	_____	%
Marzo hasta Mayo	_____	%
Junio hasta Agosto	_____	%
Septiembre hasta Noviembre	_____	%
Total	100 %	



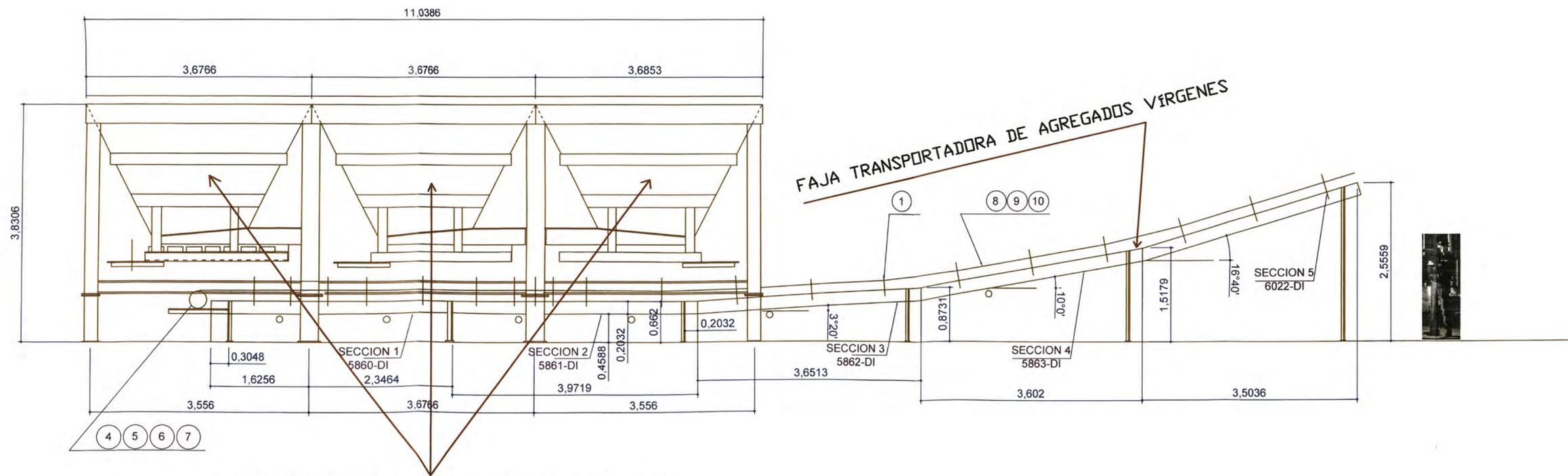
PLANOS

RELACIÓN DE PLANOS

PLANO N°	DESCRIPCIÓN
01	<ul style="list-style-type: none">• ELEVACIÓN DE FAJA PARA AGREGADOS VÍRGENES.• LAYOUT DE TOLVAS PARA AGREGADOS VÍRGENES.
02	<ul style="list-style-type: none">• ELEVACIÓN DEL SILO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.• ELEVACIÓN DE FAJA TRANSPORTADORA PARA MEZCLA EN CALIENTE.
03	<ul style="list-style-type: none">• SECCIÓN TRANSVERSAL DE LAS TOLVAS PARA AGREGADOS VÍRGENES.• ELEVACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LAS TOLVAS.
04	<ul style="list-style-type: none">• ELEVACIÓN DEL TAMBOR MEZCLADOR Y DEL LAVADOR DE HÚMEDOS.



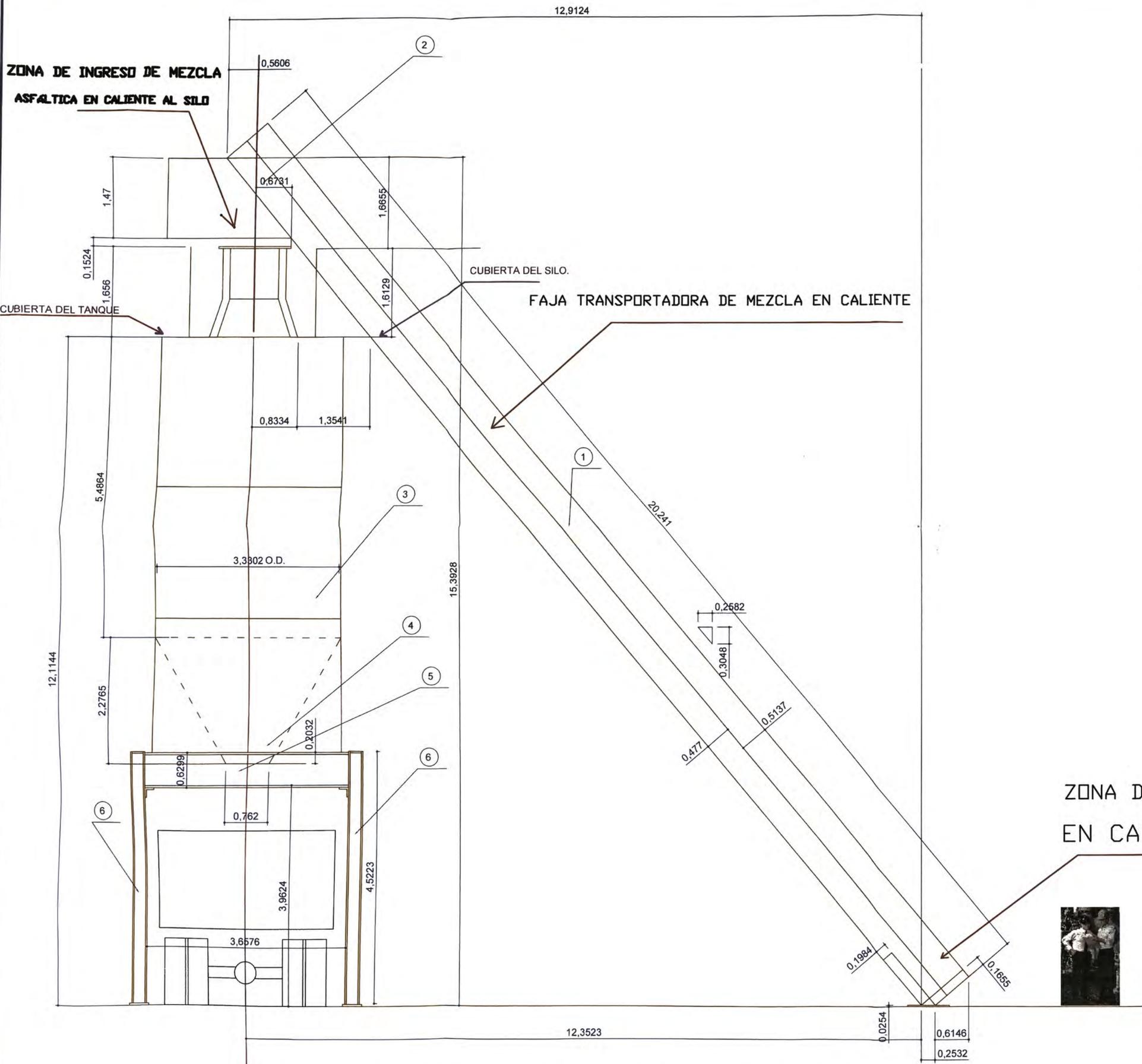
LAYOUT TOLVAS Y FAJA.		
ELABORADO POR: Ing° Hugo Miranda Tejada		
PLANTA ALMIX Modelo 8032		
COD	N°	ESPECIFICACIONES
1	27	30 x 20 TROUGHING IDLER
2	10	30 FLAT IDLER W / HEX ADAPTER
3	20	IDLER BRACKET 5291 - DI
4	2	TAKE UP 18TF39
5	2	PILLOW BLOCK PB 350 - 2 ⁷ / ₁₆
6	1	WING PULLEY W12C32 XT25
7	2	BUSHING XTB25 - 2 ⁷ / ₁₆
8	1	CONVEYOR BELT 30" WIDE x 184' LG 2 PLY TC X ¹ / ₁₆ BC
9	1	FLEXCO BELT FASTNER R5-30
10	1	FLEXCO HINGE PIN SC - 30



TOLVAS ALIMENTADORAS DE AGREGADOS VÍRGENES

LAYOUT DE TOLVAS PARA AGREGADOS EN FRÍO O VÍRGENES Y FAJA

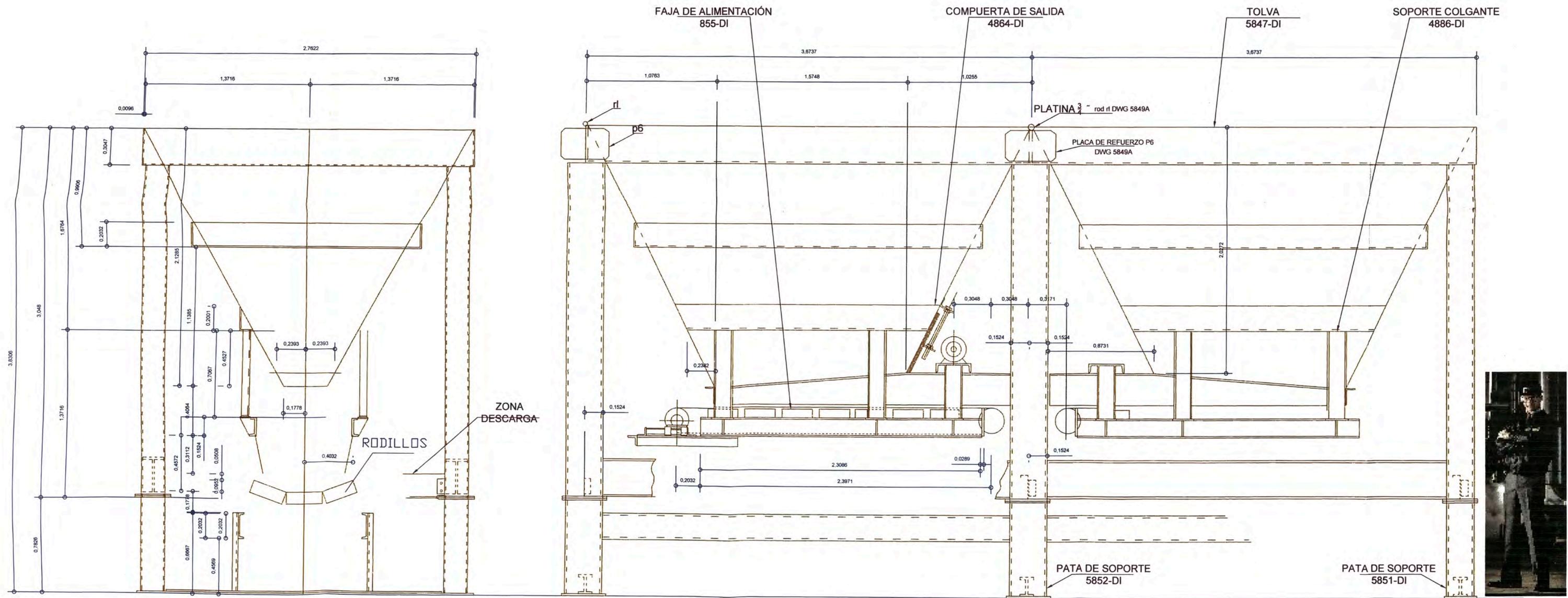
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL SECCIÓN DE POSGRADO	
TESIS: "PROYECTO DE INGENIERIA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"	
PLANOS: ELEVACIÓN DE FAJA PARA AGREGADOS VÍRGENES LAYOUT DE TOLVAS PARA AGREGADOS VÍRGENES	ESC.: 1:50
ALUMNO: HÉCTOR HUGO MIRANDA TEJADA	PLANO N°: 01
ASESOR: Mag. Ing. JUAN CARLOS UBILLUS CALMET	
FECHA: Octubre-2007	



LAYOUT SILO Y FAJA TRANSPORTADORA	
ELABORADO POR: Ing° Hugo Miranda Tejada	
PLANTA ALMIX Modelo 8032	
COD	ESPECIFICACIONES
1	FAJA TRANSPORTADORA DE MEZCLA
2	SILO DE 100 TN DE CAPACIDAD
3	ESTRUCTURA INTERNA DEL SILO
4	COMPUERTA HIDRAULICA
5	ZONA DE SALIDA DE LA MEZCLA
6	SOPORTES PRINCIPALES

LAYOUT DE ELEVACIÓN DEL SILO DE 100 TON Y FAJA TRANSPORTADORA PARA MEZCLA EN CALIENTE

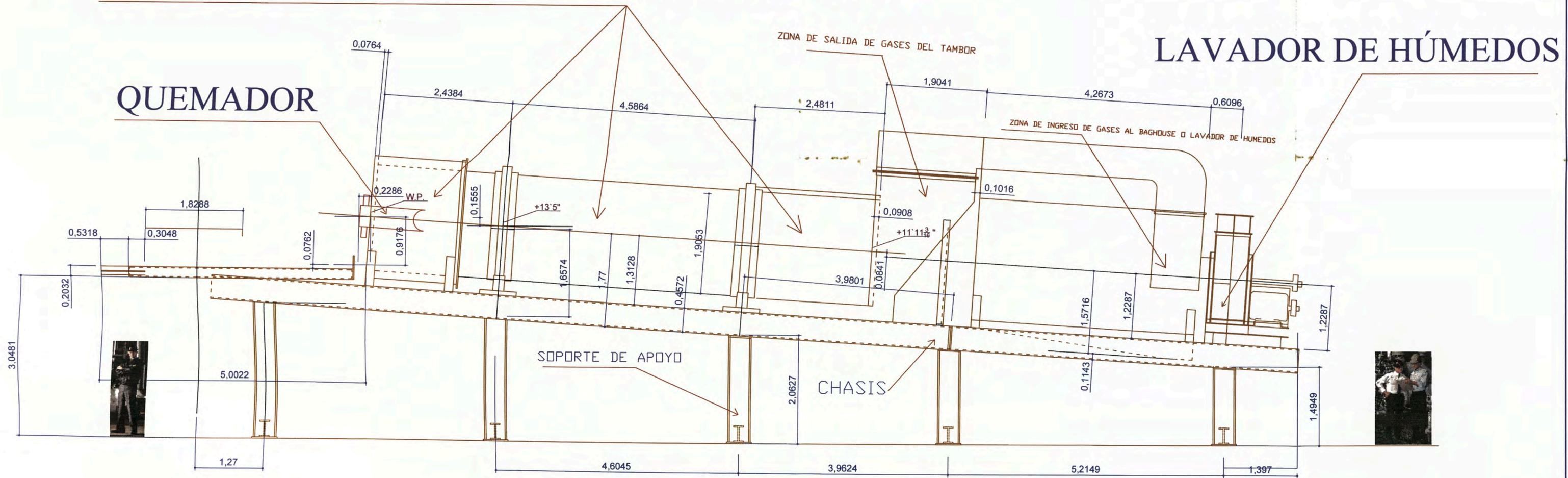
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA		
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		
SECCIÓN DE POSGRADO		
<small>TESIS:</small> "PROYECTO DE INGENIERIA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN"		
<small>PLANO:</small> ELEVACIÓN DE SILO PARA MEZCLA EN CALIENTE ELEVACIÓN DE FAJA TRANSPORTADORA DE MEZCLA EN CALIENTE	<small>ESC:</small> 1:50	<small>ALUMNO:</small> HÉCTOR HUGO MIRANDA TEJADA
<small>ASESOR:</small> Mag. Ing. JUAN CARLOS UBILLUS CALMET	<small>PLANO N°:</small> 02	<small>FECHA:</small> Octubre-2007



LAYOUT COMPONENTES DE TOLVAS PARA AGREGADOS VÍRGENES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL	
SECCIÓN DE POSGRADO	
<small>PROYECTO DE INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ULTIMA GENERACIÓN</small>	
<small>PLANO:</small> SECCION TRANSVERSAL DE LA TOLVA PARA AGREGADOS VIRGENES ELEVACION DE LOS COMPONENTES DE LAS TOLVAS	<small>ESCALA:</small> 1:20
<small>ALUMNO:</small> HÉCTOR HUGO MIRANDA TEJADA	<small>PLANO Nº:</small> 03
<small>ASESOR:</small> Mag. Ing. JUAN CARLOS UBILLUS CALMET	
<small>FECHA:</small> Octubre-2007	

TAMBOR MEZCLADOR DE FLUJO PARALELO 80" x 32'



ELEVACIÓN DEL TAMBOR MEZCLADOR 80" x 32'
 (2.032 m DE DIÁMETRO x 9.756 m DE LONGITUD)
 Y
 LAVADOR DE HÚMEDOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL SECCIÓN DE POSTGRADO	
TESIS: *PROYECTO DE INGENIERIA DE UNA PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE CON TECNOLOGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN*	
PLANO: ELEVACIÓN DEL TAMBOR MEZCLADOR Y LAVADOR DE HÚMEDOS	ESC.: 1:50
ALUMNO: HÉCTOR HUGO MIRANDA TEJADA	PLANO N°: 04
ASESOR: Mag. Ing. JUAN CARLOS UBILLUS CALMET	
FECHA: Octubre 2007	