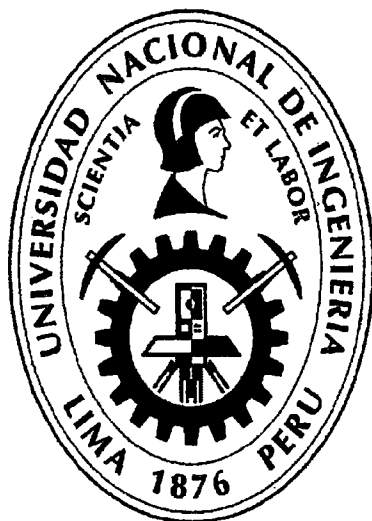


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**RECICLADO EN FRÍO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, CON EL
USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

VLADIMIR CÉSAR FERNÁNDEZ LARRAURI

Lima- Perú

2012

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

SOLICITO: Sustentación de Tesis

Señor Doctor:
JAVIER PIQUÉ DEL POZO
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Presente.-

Yo, Vladimir César Fernández Larrauri, con DNI N° 40561727, con código UNI 982075-G, egresado de la promoción 2004-II, de la especialidad de Ingeniería Civil, ante usted con todo respeto me presento y expongo:

Que deseando optar el Título Profesional de INGENIERO CIVIL mediante la modalidad de Tesis de Grado, con el tema de investigación: **RECICLADO EN FRÍO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, CON EL USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS**, asesorado por el Ing. José Wilfredo Gutiérrez Lázares, solicito a usted, se sirva tramitar a quién corresponda la programación y sustentación de mi Tesis, con los Miembros del Jurado de Sustentación designado.

Por lo expuesto, agradezco la atención que brinde a la presente.

Lima, 23 de Julio del 2012.



Fernández Larrauri, Vladimir César
Código UNI: 982075G
Correo: vladycefl@hotmail.com
Teléfono: 998506823 / 351 – 7403

Adjunto:

- 01 original y 03 copias anilladas del informe final de la Tesis de Investigación.
- Resumen de trabajo del informe de Tesis en formato digital (CD).
- Tesis de Investigación completa en formato digital (CD).
- Versión corta de la Tesis en formato digital (CD).
- Presentación de la Tesis en Power Point (CD).
- 03 fotografías tamaño pasaporte.
- Recibo de pago en caja por alquiler de aula o sala de sustentación.

TITULO : "RECICLADO EN FRÍO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, CON EL USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS".

TESISTA : VLADIMIR CÉSAR FERNÁNDEZ LARRAURI.

CÓDIGO : 982075 – G.

ASESOR : ING. JOSÉ WILFREDO GUTIÉRREZ LÁZARES.
DPTO. ACAD. DE MECÁNICA DE SUELOS.



A. ANTECEDENTES

El Perú tiene una red vial de 78,396 kilómetros de longitud y se encuentra compuesta longitudinal y transversalmente de la manera siguiente:

○ Red Vial Nacional	16,857km.	22%
○ Red Vial Departamental	14,250km.	18%
○ Red Vial Vecinal	47,289km.	60%

Estas redes se encuentran conformadas por carreteras asfaltadas, afirmadas y sin afirmar. En el caso de la Red Vial Nacional, solo 8,531 km. se encuentran asfaltadas, quedando un restante igual al 50% de carreteras sin asfaltar.

El crecimiento económico del país exige la expansión de su red vial en un corto periodo de tiempo; durante este tiempo el pavimento de las carreteras que se encuentran asfaltadas se avejentarán y de no aplicar una buena estrategia de rehabilitación y conservación de carreteras, estas llegarán a la etapa final de su vida útil, requiriendo posteriormente la reconstrucción total del camino.

El reciclado en frío de pavimentos flexibles resulta ser una buena estrategia de rehabilitación y conservación de las carreteras, por los múltiples beneficios que esta alternativa ofrece. Estos beneficios recaen directamente en la disminución de los costos, tiempos muertos y contaminación del medio ambiente.

La disminución de los costos se da porque los materiales a emplear son producto de la reutilización del pavimento existente, siendo aplicados en el mismo lugar o fuera de él, eliminando los costos de explotación y transporte del material de préstamo.

La eliminación de los tiempos muertos como resultado del no cierre de la vía ya que la metodología se desarrolla en paralelo, sin interrumpir el tránsito de los vehículos que circulan por el lugar.

GA

La disminución de la contaminación ambiental al no existir volatilización y emisión de componentes tóxicos al medio ambiente.

Desde hace 20 años los países en desarrollo vienen empleando esta metodología, obteniendo buenos resultados. El Perú no debería ser la excepción, debido a que más del 80% de su red vial se encuentra no pavimentada y con el ahorro que se generaría aplicando esta metodología podría terminar de pavimentarse, mejorando el nivel de serviciabilidad de sus carreteras.

B. JUSTIFICACIÓN

De lo anterior, surgen las interrogantes siguientes:

- ¿Qué alternativas de rehabilitación y conservación de carreteras existen?
 - ¿Cuáles son las ventajas y desventajas que estas alternativas ofrecen?
 - ¿El Reciclado en frío de pavimentos asfálticos, es una buena alternativa, y porqué?
- La importancia de esta tesis radica en responder adecuadamente las interrogantes planteadas y por ello el motivo de realizar dicha investigación.

El reciclado de pavimentos asfálticos ofrece muchas ventajas, como la conservación del material (agregado y ligante asfáltico), energía, recursos naturales, mejoramiento de la estructura de la base de carreteras recicladas, preservación del medio ambiente y la reducción de costos de conservación en nuestras vías de comunicación.

Existen muchos tipos de reciclado de pavimentos, pero si se toma en cuenta su temperatura de aplicación se reducen a dos:

- ✓ Reciclado en Caliente (Hot Mix Recycling).
- ✓ Reciclado en Frío (Cold Mix Recycling).

Debido a que ya existen trabajos de investigación sobre reciclado de pavimentos en caliente, la presente tesis sólo se centrará en el reciclado en frío de pavimentos flexibles, para lo cual utilizará el material fresado de la carretera Centra, tramo San Mateo – La Oroya.

C. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La rehabilitación de carreteras mediante reciclado en frío de pavimentos flexibles, es una alternativa muy utilizada por diferentes países en todo el mundo, debido a las múltiples ventajas que ésta ofrece.



07

Actualmente en el país el conocimiento sobre el tema es muy genérico y no se han realizado proyectos pilotos de aplicación que permitan demostrar las múltiples ventajas técnicas, económicas y ambientales que esta alternativa ofrece. Además la escasez de trabajos de investigación que sustenten el empleo de esta metodología no ha permitido que el reciclado de pavimentos sea considerado dentro de las especificaciones técnicas generales vigentes, originándose una brecha entre estas normas y las nuevas técnicas de rehabilitación empleadas por otros países.

El emplear métodos tradicionales de rehabilitación, origina sobrecostos y un manejo no racionalizado de los recursos existentes, al no ser estos reaprovechados de manera adecuada.

En la presente tesis se evaluará las propiedades físicas y mecánicas del material fresado, materiales de aporte y mezcla reciclada, de los resultados que se obtengan se propondrá alternativas técnicas y económicas viables para su aplicación.

D. OBJETIVOS

Principal

Mostrar que las mezclas recicladas con emulsiones asfálticas catiónicas, son una buena alternativa para la rehabilitación de pavimentos.

Específicos

- ✓ Caracterizar los materiales a emplear, como los agregados, emulsión y RAP, mediante ensayos de control de calidad, realizados en laboratorio.
- ✓ Sustentar la factibilidad técnica del reciclado en frío de pavimento asfáltico, mediante la elaboración en laboratorio de diseños de mezcla compuestos por agregado, RAP y emulsión, que cumplan con las especificaciones técnicas.
- ✓ Evaluar la factibilidad económica del reciclado de pavimentos con mezclas emulsionadas.
- ✓ Mostrar las ventajas del reciclado de pavimentos con respecto a los métodos tradicionales de rehabilitación de carreteras.



2 MAYO 2011

Q

E. MARCO TEÓRICO

La presente tesis se encuentra definida mediante los siguientes conceptos:

- ✓ Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.
- ✓ Reología del asfalto.
- ✓ Emulsión.
- ✓ Diseño de mezclas asfálticas.
- ✓ Reciclado de pavimentos.
- ✓ Diseño de pavimentos.



F. HIPOTESIS

Considerando el reciclado en frío de pavimentos, con emulsiones asfálticas catiónicas, se podría optimizar los recursos, sin afectar la calidad del pavimento.

G. INDICE

RESUMEN

LISTA DE TABLAS

LISTA DE CUADROS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I ASPECTOS GENERALES

- 1.1 ANTECEDENTES.
- 1.2 OBJETIVO GENERAL.
- 1.3 ALCANCE DE LA TESIS.
- 1.4 METODOLOGÍA DEL TRABAJO.

CAPITULO II LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

- 2.1 REOLOGÍA DEL ASFALTO.
- 2.2 EMULSIÓN.
- 2.3 COMPONENTES.
- 2.4 TIPOS.
- 2.5 CLASIFICACIÓN.
- 2.6 ELABORACIÓN EN PLANTA.

CA

- 2.7 USOS Y VENTAJAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.
- 2.8 COMBINACIONES: EMULSIONES ASFÁLTICAS Y AGREGADOS.

CAPITULO III LOS AGREGADOS

- 3.1 DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA CANTERA.

CAPITULO IV DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

- 4.1 COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA.
- 4.2 DISEÑO DE MEZCLA.

CAPITULO V ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- 5.1 EMULSIONES ASFÁLTICAS.
- 5.2 AGREGADOS.
- 5.3 MEZCLAS ASFÁLTICAS.

CAPITULO VI RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

- 6.1 TIPOS DE RECICLAJE.
- 6.2 VENTAJAS DE LAS TÉCNICAS DE RECICLADO.

CAPITULO VII APLICACIÓN: CARRETERA CENTRAL TRAMO SAN MATEO – LA OROYA

- 7.1 MEMORIA DESCRIPTIVA.
- 7.2 EVALUACIÓN DEL TRAMO.
- 7.3 CONTROL DE CALIDAD EN LABORATORIO.

CAPITULO VIII ANÁLISIS DE RESULTADOS

- 8.1 EVALUACIÓN TÉCNICA.
- 8.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA.

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS



H. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología a emplear es la correspondiente al método científico deductivo – inductivo y se detalla a continuación:

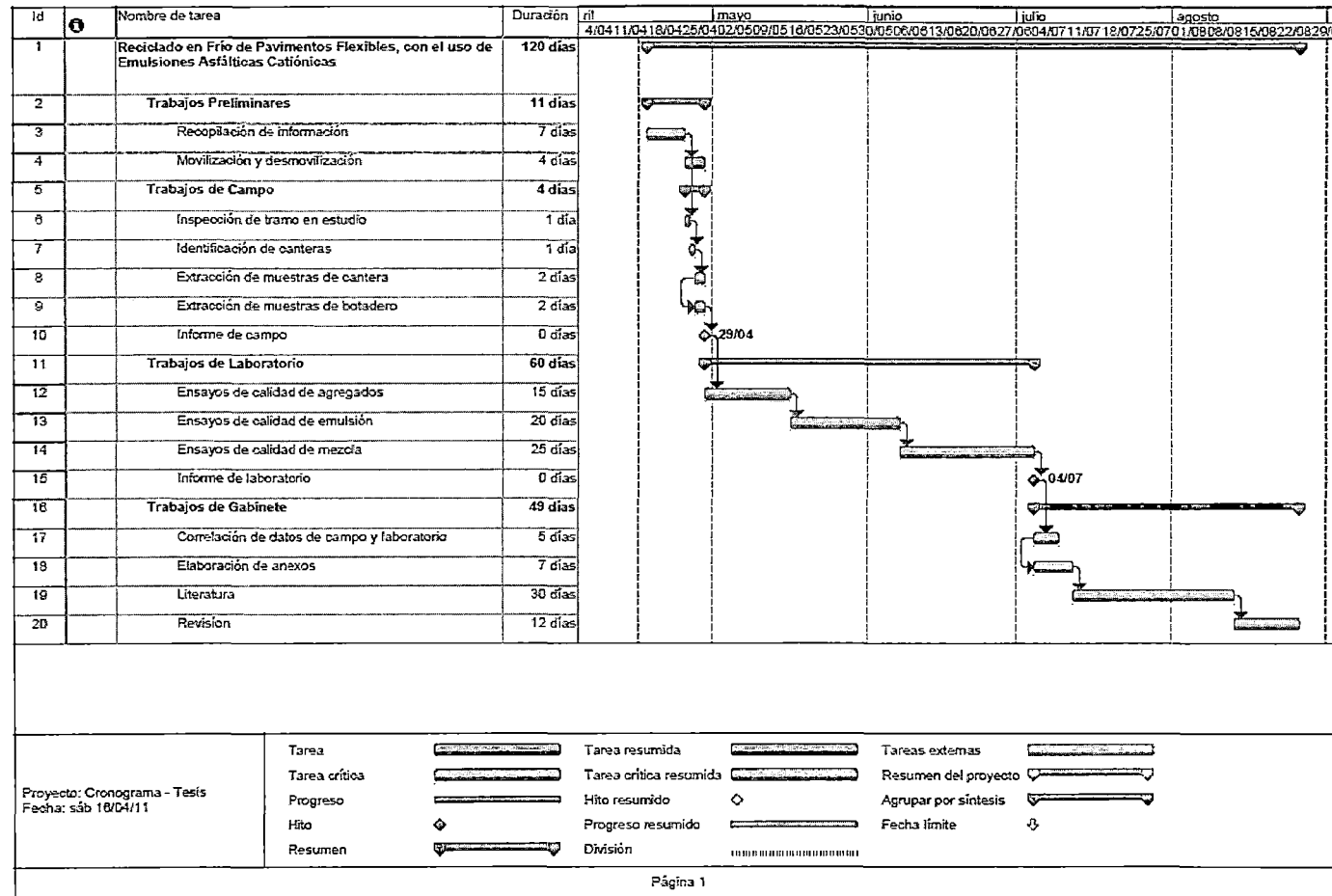
- ✓ Ensayos de control de calidad a los agregados (fino y grueso)
- ✓ Ensayos de control de calidad de mezclas bituminosas.
- ✓ Diseño de pavimentos asfálticos.
- ✓ Análisis de los resultados obtenidos.
- ✓ Bibliografía sobre procedimientos similares.



12 MAYO 2011

A small, handwritten mark or signature in the bottom left corner of the page.

I. CRONOGRAMA DE TRABAJO



Q

J. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ American Section of the International Association for Testing Materials (ASTM), "Normas de Ensayos de Materiales", ASTM, EE.UU, 2002.
- ✓ American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), "Normas de Ensayos de Materiales", AASHTO, EE.UU, 2001.
- ✓ Asociación Peruana de Caminos (APC), "IV Congreso Nacional del Asfalto", APC, Perú, 2001.
- ✓ Asociación Peruana de Caminos (APC), "VI Congreso Nacional del Asfalto", APC, Perú, 2003.
- ✓ Asphalt Institute, "Asphalt Cold Mix Recycling", Asphalt Institute, EE.UU, 1983.
- ✓ Asphalt Institute, "Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente", Asphalt Institute, México, 1992.
- ✓ Asphalt Institute, "Manual Básico de Emulsiones Asfálticas", Asphalt Emulsión Manufacturers Association (AEMA), EE.UU, 2001.
- ✓ Crespo Villalaz Carlos, "Vías de Comunicación", Limusa Noriega, Colombia, 1990.
- ✓ Guerra Bustamante César, "Carretera Ferrocarriles y Canales", América, Perú, 1997.
- ✓ Ibañez Walter, "Costos y Tiempos en Carreteras", Cristobal, Perú, 1992.
- ✓ Medina Ramirez, "Aplicaciones de las Emulsiones Asfálticas y Los Asfaltos Diluidos en Mezclas Asfálticas en Frío Utilizando Agregados del Río Aguaytía – Ucayali", Tesis UNI – FIC, Lima, 2000.
- ✓ Mejia Matías Pedro Pablo, "Rehabilitación de Pavimentos con el Uso de Emulsiones Asfálticas en la Ciudad de Lima", Tesis UNI – FIC, Lima, 1998.



9

- ✓ Montejo Fonseca Alfonso, "Ingeniería de Pavimentos para Carreteras", Universidad Católica de Colombia, Colombia, 1998.
- ✓ Olivera Bustamante Fernando, "Estructuración de Vías Terrestres", Cesca, Mexico, 1999.
- ✓ Rivera E. Gustavo, "Reciclado de Pavimentos en Frío", Alfaomega, México, 1997.
- ✓ Revista Tecnología, "Reciclado de Pavimentos", Caminos del Perú, Perú, 2003.
- ✓ Wirtgen, "Manual sobre Reciclado en Frío", Wirtgen, Alemania, 2004.



Bach. Vladimir César Fernández Larrauri
Código: 982075G
TESISTA

Ing. José Wilfredo Gutiérrez Lazares
ASESOR

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme salud y vida, requisito indispensable para lograr metas y cristalizar sueños.

A mis hermanas Milagritos y Yavidja, y de forma muy especial a mis padres Rodolfo y Nélida por brindarme su amor y apoyo incondicional y por ser el soporte emocional y moral que un hijo siempre necesita.

A mi hijo Josemaría por su cuota diaria de amor y alegría que me llena de energía y me permite seguir siempre adelante y no claudicar ante las vicisitudes de la vida.

A mi china Mónica por su amor y compañía inagotable estando conmigo en cada momento de mi vida y por enseñarme de diversas formas el valor del compromiso y el perdón.

Al Ing. Wilfredo Gutiérrez por su amistad y sabias enseñanzas que me ha ido impartiendo durante todo este tiempo haciendo de mí un mejor profesional.

A la empresa GHAMA Ingeniería S.A, representados por el Ing. Wilfredo Gutiérrez y su esposa la Sra. Josefina Herrera, al brindarme todo su apoyo facilitándome todos los recursos que fueron necesarios para el desarrollo de la tesis.

A mi alma mater la Universidad Nacional de Ingeniería, de la cual me siento muy orgulloso de pertenecer, por su personal docente que imparten de forma desinteresada sus conocimientos y experiencias con el objetivo de que seamos cada día buenos profesionales.

A los funcionarios y jefes de área de la Dirección de Estudios Especiales (Ex - OAT) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, por haberme permitido utilizar sus instalaciones durante mis ensayos de laboratorio y al personal técnico representados por los señores Leoncio Céspedes y Eduardo Dall' Orto por haberme dado su apoyo y compartido sus conocimientos durante todo ese tiempo.

Dedicatoria

A mis padres por el amor y apoyo que me han brindado durante todo este tiempo y por haberme enseñado que con fe y perseverancia los sueños se pueden hacer realidad.

A mi hijo Josemaria por ser mi fuente de inspiración de desarrollo personal y profesional.

A Mónica por su lealtad y por quién guardo mucha gratitud, respeto y amor.

INDICE

RESUMEN	5
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE CUADROS	8
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE FOTOS	12
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	13
INTRODUCCIÓN	15
1.0 ASPECTOS GENERALES	16
1.1 ANTECEDENTES	16
1.2 OBJETIVO GENERAL	19
1.2.1 Objetivos Específicos	19
1.3 ALCANCE DE LA TESIS	19
1.4 METODOLOGÍA DEL TRABAJO	19
2.0 EMULSIONES ASFÁLTICAS	21
2.1 REOLOGÍA DEL ASFALTO	21
2.2 EMULSIÓN.....	24
2.3 COMPONENTES	24
2.4 TIPOS	25
2.5 CLASIFICACIÓN.....	25
2.6 ELABORACIÓN EN PLANTA.....	27
2.7 USOS Y VENTAJAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS	28
2.8 EMULSIONES ASFÁLTICAS Y AGREGADOS	30
3.0 AGREGADOS PETREOS	32
3.1 DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA CANTERA	32
3.1.1 Cantera Chiuri	33
3.1.2 Cantera Cut – Off	34
3.1.3 Cantera Shayanca.....	36
4.0 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO	37
4.1 COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA	37
4.2 DISEÑO DE MEZCLA.....	38
4.2.1 Gradación del Agregado	39
4.2.1.1 Gradación Abierta	39
4.2.1.2 Gradación Cerrada.....	40

4.2.2	Selección del Tipo de Emulsión Asfáltica.....	43
4.2.3	Determinación del Contenido de Asfalto Teórico Tentativo	45
4.2.4	Determinación del Contenido Óptimo de Agua.....	47
4.2.5	Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto	48
5.0	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	49
5.1	EMULSIONES ASFÁLTICAS	49
5.2	AGREGADOS	55
5.3	MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	57
6.0	RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	59
6.1	TIPOS DE RECICLAJE	64
6.1.1	Fresado en Frío	65
6.1.2	Reciclado en Caliente	66
6.1.3	Reciclado en Caliente In – Situ.....	69
6.1.4	Reciclado en Frío	73
6.1.5	Recuperación a Profundidad	79
6.2	VENTAJAS DE LAS TÉCNICAS DE RECICLADO.....	82
7.0	APLICACIÓN CARRETERA CENTRAL TRAMO SAN MATEO – LA OROYA.....	86
7.1	MEMORIA DESCRIPTIVA.....	86
7.1.1	Objetivos del Proyecto	86
7.1.2	Beneficios	86
7.1.3	Ubicación del Proyecto	87
7.1.4	Secciones Típicas	87
7.2	EVALUACIÓN DEL TRAMO	88
7.2.1	Suelos.....	88
7.2.1.1	<i>Sub - Base Granular.....</i>	<i>88</i>
7.2.1.2	<i>Sub – Rasante</i>	<i>88</i>
7.2.1.3	<i>Base – Granular</i>	<i>93</i>
7.2.1.4	<i>Carpeta Asfáltica</i>	<i>93</i>
7.2.2	Pavimento.....	94
7.2.2.1	<i>Evaluación Superficial del Pavimento</i>	<i>95</i>
7.2.2.2	<i>Evaluación Estructural del Pavimento</i>	<i>102</i>
7.2.3	Tráfico	103
7.2.3.1	<i>Volumen de Tráfico</i>	<i>105</i>
7.2.3.2	<i>Proyección del Tráfico.....</i>	<i>108</i>
7.2.3.3	<i>Cargas por Eje.....</i>	<i>116</i>

7.2.3.4	<i>Ejes Equivalentes a 8.2 Toneladas Acumulados (EAL)</i>	117
7.3	CONTROL DE CALIDAD EN LABORATORIO	118
7.3.1	Material RAP	118
7.3.2	Emulsiones Asfálticas	124
7.3.3	Material de Aporte	126
7.3.4	Mezcla Asfáltica Reciclada	130
7.3.4.1	<i>Gradación del Agregado Combinado</i>	130
7.3.4.2	<i>Selección del Tipo de Emulsión Asfáltica</i>	138
7.3.4.3	<i>Determinación del Contenido de Asfalto Teórico Tentativo</i>	138
7.3.4.4	<i>Determinación del Contenido Óptimo de Agua</i>	143
7.3.4.5	<i>Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto</i>	153
8.0	ANÁLISIS DE RESULTADOS	177
8.1	EVALUACIÓN TÉCNICA.....	177
8.1.1	Diseño Convencional	184
8.1.2	Diseño Propuesto.....	186
8.2	EVALUACIÓN ECONÓMICA	188
8.3	EVALUACIÓN FINANCIERA.....	192
8.3.1	Flujo del Proyecto.....	192
8.3.2	Análisis de Sensibilidad	195
	CONCLUSIONES	198
	RECOMENDACIONES	201
	BIBLIOGRAFÍA	203
	ANEXOS	

RESUMEN

El trabajo de investigación, tiene el propósito de mostrar una adecuada alternativa en la conservación del pavimento de las carreteras. La alternativa corresponde a trabajos de reciclado en frío para pavimentos flexibles, con adición de emulsión asfáltica del tipo catiónica.

Con el objetivo de lograr una comprensión integrada de la especialidad, se realizaron prácticas profesionales en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la FIC-UNI, por espacio de cuatro (04) meses y luego por espacio de doce (12) meses en el laboratorio de la Oficina de Apoyo Tecnológico del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

La tesis se ha desarrollado en ocho capítulos. Los primeros capítulos tratan el estado del arte y el marco conceptual del tema; mientras que los finales desarrollan la aplicación de la alternativa propuesta que ha permitido demostrar la hipótesis de la tesis.

En laboratorio se obtuvieron mezclas emulsionadas recicladas con estabilidades superiores a 960 lb. y relaciones de vacíos entre 3% y 6%, que cumplen con las especificaciones técnicas establecidas, por el Ministerio de Transportes.

En base a estos resultados se diseñó la estructura del pavimento que soportará los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos que lo van a transitar.

Se evaluó la factibilidad económica y financiera de esta alternativa, obteniendo resultados favorables debido a que se obtuvieron ahorros superiores a S/.59,000 por kilómetro, un VAN igual a \$15,210 y una TIR igual a 34%.

LISTA DE TABLAS

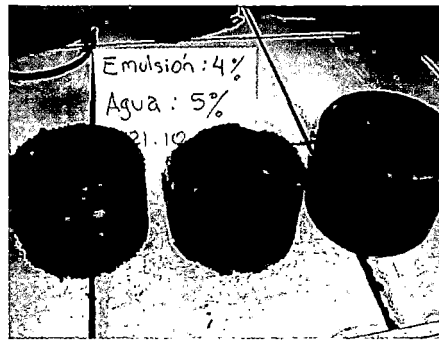
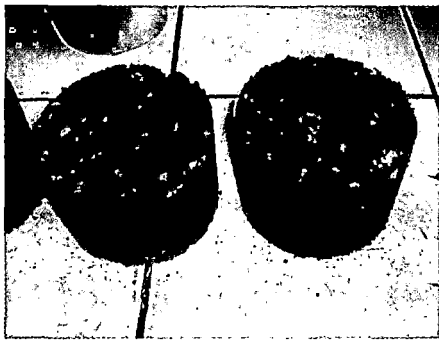
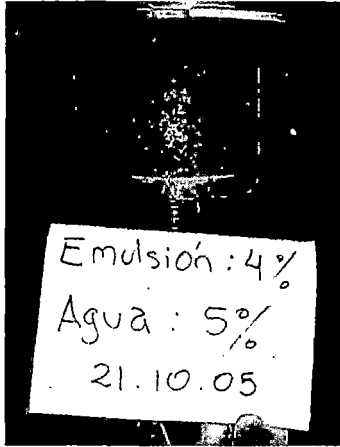
Tabla 7-1 Propiedades del RAP.....	119
Tabla 7-2 Asfalto recuperado del RAP (M-1 al M-3) – Método Abson.....	120
Tabla 7-3 Asfalto recuperado del RAP (M-4 al M-6) – Método Abson.....	121
Tabla 7-4 Asfalto recuperado del RAP (M-7 al M-9) – Método Abson.....	122
Tabla 7-5 Calidad del cemento asfáltico recuperado.....	123
Tabla 7-6 Calidad de la emulsión catiónica (CSS – 1h).....	125
Tabla 7-7 Calidad de la emulsión catiónica (CSS – 1h – SBR).....	125
Tabla 7-8 Propiedades del agregado grueso.....	127
Tabla 7-9 Propiedades del agregado fino.....	128
Tabla 7-10 Calidad del agregado grueso 3/4" – 3/8".....	129
Tabla 7-11 Calidad del agregado grueso 3/8" – N° 4.....	129
Tabla 7-12 Calidad del agregado fino.....	129
Tabla 7-13 Composición granulométrica – Mezcla tipo I.....	133
Tabla 7-14 Composición granulométrica – Mezcla tipo II.....	135
Tabla 7-15 Valores extremos – I.A.....	139
Tabla 7-16 Contenido de emulsión tentativo – I.A.....	139
Tabla 7-17 Valores extremos – U.I.....	140
Tabla 7-18 Contenido de emulsión tentativo – U.I.....	140
Tabla 7-19 Contenido de emulsión tentativo final.....	140
Tabla 7-20 Proporciones de RAP y agregado – Ensayo de recubrimiento.....	141
Tabla 7-21 Proporciones de agregado – Mezcla tipo I.....	143
Tabla 7-22 Cantidad de emulsión – Mezcla tipo I.....	144
Tabla 7-23 Cantidad de agua – Mezcla tipo I.....	144
Tabla 7-24 Estabilidades para briquetas de 3% y 4% de contenido de agua – Mezcla tipo I.....	145
Tabla 7-25 Estabilidades para briquetas de 5% y 6% de contenido de agua – Mezcla tipo I.....	146
Tabla 7-26 Estabilidades para briquetas de 7% de contenido de agua – Mezcla tipo I.....	146
Tabla 7-27 Máxima energía de compactación – Mezcla tipo I.....	148
Tabla 7-28 Proporciones de agregado – Mezcla tipo II.....	148
Tabla 7-29 Cantidad de emulsión – Mezcla tipo II.....	149
Tabla 7-30 Cantidad de agua – Mezcla tipo II.....	149
Tabla 7-31 Estabilidades para briquetas de 2% y 3% de contenido de agua – Mezcla tipo II.....	149
Tabla 7-32 Estabilidades para briquetas de 4% y 5% de contenido de agua – Mezcla tipo II.....	150
Tabla 7-33 Estabilidades para briquetas de 6% de contenido de agua – Mezcla tipo II.....	151

Tabla 7-34 Máxima energía de compactación – Mezcla tipo II.....	152
Tabla 7-35 Proporción de materiales – Mezcla Tipo I.....	153
Tabla 7-36 Pérdida de humedad – Mezcla tipo I.....	153
Tabla 7-37 Marshall modificado para 8% de contenido de emulsión – Mezcla tipo I.....	154
Tabla 7-38 Marshall modificado para 9% de contenido de emulsión – Mezcla tipo I.....	155
Tabla 7-39 Marshall modificado para 10% de contenido de emulsión – Mezcla tipo I.....	157
Tabla 7-40 Marshall modificado para 11% de contenido de emulsión – Mezcla tipo I.....	159
Tabla 7-41 Marshall modificado para 8% de contenido de emulsión – Mezcla tipo I.....	160
Tabla 7-42 Proporción de materiales – Mezcla tipo II.....	165
Tabla 7-43 Pérdida de humedad – Mezcla tipo II.....	165
Tabla 7-44 Marshall modificado para 7% de contenido de emulsión – Mezcla tipo II.....	165
Tabla 7-45 Marshall modificado para 8% de contenido de emulsión – Mezcla tipo II.....	167
Tabla 7-46 Marshall modificado para 9% de contenido de emulsión – Mezcla tipo II.....	168
Tabla 7-47 Marshall modificado para 10% de contenido de emulsión – Mezcla tipo II.....	170
Tabla 7-48 Marshall modificado para 11% de contenido de emulsión – Mezcla tipo II.....	171
Tabla 7-49 Calidad de las mezclas asfálticas recicladas.....	176
Tabla 8-1 Estructura del pavimento – Método convencional.....	185
Tabla 8-2 Estructura del pavimento – Método propuesto.....	187
Tabla 8-3 Presupuesto de obra – Método convencional.....	190
Tabla 8-4 Presupuesto de obra – Método propuesto.....	191

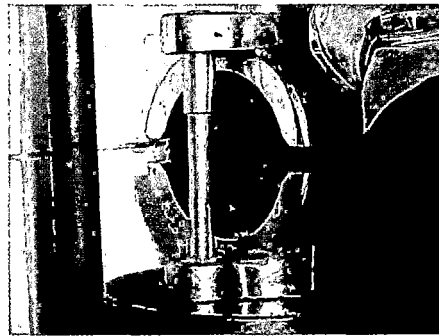
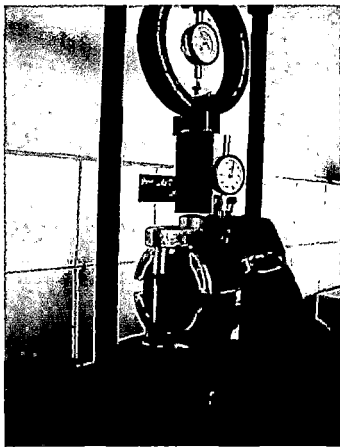
LISTA DE CUADROS

Cuadro 1-1 Composición de red vial nacional.	17
Cuadro 1-2 Composición de la red vial departamental.	17
Cuadro 1-3 Composición de red vial local.	17
Cuadro 2-1 Clasificación de las emulsiones asfálticas.	26
Cuadro 2-2 Recomendaciones de uso de las emulsiones asfálticas.	28
Cuadro 2-3 Usos constructivos de las emulsiones asfálticas.	30
Cuadro 3-1 Composición por tamaño – Cantera Chiuri.	33
Cuadro 3-2 Granulometría – Cantera Chiuri.	33
Cuadro 3-3 Clasificación de suelo – Cantera Chiuri.	33
Cuadro 3-4 Eficiencia – Cantera Chiuri.	34
Cuadro 3-5 Potencia efectiva – Cantera Chiuri.	34
Cuadro 3-6 Composición por tamaño – Cantera Cut – Off.	34
Cuadro 3-7 Granulometría – Cantera Cut – Off.	35
Cuadro 3-8 Clasificación de suelo – Cantera Cut – Off.	35
Cuadro 3-9 Eficiencia – Cantera Cut – Off.	35
Cuadro 3-10 Potencia efectiva – Cantera Cut – Off.	35
Cuadro 4-1 Husos granulométricos (MS-19) – Gradación abierta.	39
Cuadro 4-2 Husos granulométricos (CR-2002) – Gradación abierta.	40
Cuadro 4-3 Husos granulométricos (MS-19) – Gradación cerrada.	40
Cuadro 4-4 Husos granulométricos (MS-21) – Gradación cerrada RAP.	41
Cuadro 4-5 Husos granulométricos (CR-2002) – Gradación cerrada.	42
Cuadro 4-6 Husos granulométricos (Univ. Illinois) – Gradación cerradas.	42
Cuadro 4-7 Tipo de emulsión versus aplicación.	43
Cuadro 5-1 Ensayos de control de calidad - RAP.	50
Cuadro 5-2 Parámetros de control de calidad – Cemento asfáltico (PEN).	51
Cuadro 5-3 Parámetros de control de calidad – Cemento Asfáltico (Viscosidad).	51
Cuadro 5-4 Ensayos de control de calidad – Emulsiones asfálticas.	52
Cuadro 5-5 Parámetros de control de calidad – Emulsión asfáltica catiónica.	54
Cuadro 5-6 Ensayos de control de calidad – Agregados.	55
Cuadro 5-7 Parámetros de control de calidad – Agregados (Altitud).	56
Cuadro 5-8 Parámetros de control de calidad – Agregados (Tráfico).	57
Cuadro 5-9 Ensayo de control de calidad – Mezclas emulsionadas.	57
Cuadro 5-10 Parámetros de control de calidad – Mezclas emulsionadas.	58

MEZCLAS BITUMINOSAS



Extracción de la Mezcla Compactada



Resistencia a la Compresión Diametral (Marshall)

Cuadro 6-1 Factores de deterioro del pavimento.	82
Cuadro 6-2 Técnicas de rehabilitación.	83
Cuadro 7-1 Sectorización de la sub-rasante por tipo de suelo.....	88
Cuadro 7-2 Valores de CBR de la sub-rasante en función a la densidad in-situ.....	89
Cuadro 7-3 Sectorización de la base granular por tipo de suelo.	93
Cuadro 7-4 Sectorización de la carpeta asfáltica en función a los espesores.....	93
Cuadro 7-5 Conformación de la estructura del pavimento.	94
Cuadro 7-6 Tipos de falla en el pavimento – CONREVIAl.....	95
Cuadro 7-7 Resumen de evaluación de fallas por sector.	96
Cuadro 7-8 Sectores críticos del pavimento.	98
Cuadro 7-9 Tipos de ahuellamiento.....	98
Cuadro 7-10 Ahuellamientos del pavimento por sector.	99
Cuadro 7-11 Escala de calificación de transitabilidad.....	101
Cuadro 7-12 Rugosidad característica del pavimento por sector.	101
Cuadro 7-13 Calificación del pavimento en función al PSI.....	102
Cuadro 7-14 Sectorización del pavimento en función a su deflexión característica.....	103
Cuadro 7-15 Propiedades estructurales del pavimento.....	103
Cuadro 7-16 Estaciones de medición de tráfico.	105
Cuadro 7-17 Factores de corrección estacional.	106
Cuadro 7-18 IMDA por tramo homogéneo.....	107
Cuadro 7-19 Tasa de crecimiento del PBI del área de influencia.	109
Cuadro 7-20 Tasas de crecimiento de las variables socioeconómicas.....	110
Cuadro 7-21 Elasticidades por períodos de diseño.....	110
Cuadro 7-22 Tasas de crecimiento por tipo de vehículo.	111
Cuadro 7-23 Tráfico desviado de la carretera Lima – La Oroya.	112
Cuadro 7-24 Tráfico total del tramo homogéneo San Mateo – Morococha.	113
Cuadro 7-25 Tráfico total del tramo homogéneo Morococha – La Oroya.....	115
Cuadro 7-26 Factores destructivos por tipo de vehículo.....	117
Cuadro 7-27 Ejes equivalentes por período para cada tramo homogéneo.	118
Cuadro 7-28 Husos granulométricos propuestos en el diseño de mezcla.....	130
Cuadro 7-29 Recubrimiento de la emulsión – Mezcla tipo I.	142
Cuadro 7-30 Recubrimiento de la emulsión – Mezcla tipo II.	143
Cuadro 8-1 Parámetros de diseño.....	179
Cuadro 8-2 Coeficientes estructurales y de drenaje.	179
Cuadro 8-3 Número estructural efectivo en función del MR.....	180

Cuadro 8-4 Número estructura requerido y de refuerzo del pavimento $f(MR)$	182
Cuadro 8-5 Número estructural efectivo en función del CBR.....	182
Cuadro 8-6 Número estructural requerido y de refuerzo del pavimento $f(CBR)$	183
Cuadro 8-7 Alternativas de rehabilitación del pavimento.....	188
Cuadro 8-8 Flujo de caja económico del proyecto para los 7 primeros años.....	192
Cuadro 8-9 Flujo de caja económico del proyecto para los 7 últimos años.....	193
Cuadro 8-10 Proyección financiera para los 7 primeros años.....	193
Cuadro 8-11 Proyección financiera para los 7 últimos años.....	194
Cuadro 8-12 Flujo de caja financiero para los 7 primeros años.....	194
Cuadro 8-13 Flujo de caja financiero para los 7 últimos años.....	194
Cuadro 8-14 Análisis de sensibilidad del VAN y TIR considerando un solo escenario.....	195
Cuadro 8-15 Análisis de sensibilidad del VAN considerando dos escenarios.....	196
Cuadro 8-16 Análisis de sensibilidad del TIR considerando dos escenarios.....	196

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Metodología de investigación.....	20
Figura 2-1 Deformación del material por esfuerzos axiales.....	21
Figura 2-2 Proceso de elaboración de los asfaltos.	27
Figura 2-3 Proceso de elaboración de la emulsión.	28
Figura 4-1 Metodología de diseño de mezcla emulsionada.	39
Figura 5-1 Metodología de control de calidad de materiales.....	49
Figura 6-1 Variación de la condición y serviciabilidad del pavimento.....	60
Figura 6-2 Metodología de evaluación de técnicas de rehabilitación.	63
Figura 6-3 Fresado del pavimento.....	65
Figura 6-4 Recopilación del material RAP.	66
Figura 6-5 Esquema de producción del Batch plants.....	67
Figura 6-6 Esquema de producción del Drum mix plants.....	68
Figura 6-7 Proceso constructivo de reciclado en caliente en planta.....	68
Figura 6-8 Proceso de reciclado en caliente in-situ convencional.	69
Figura 6-9 Proceso de remezcla de reciclado en caliente in-situ.....	71
Figura 6-10 Proceso de repavimentación de reciclado en caliente in-situ.	72
Figura 6-11 Tren de reciclado en frío in-situ.	74
Figura 6-12 Tren CIR de una sola unidad.....	75
Figura 6-13 Tren CIR de unidades múltiples.	76
Figura 6-14 Planta mezclador móvil y estacionaria de reciclado en frío.....	77
Figura 6-15 Proceso de producción CCPR.....	78
Figura 6-16 Sistema convencional de FDR.	80
Figura 6-17 Trenes de reciclaje FDR con aditivo estabilizador.....	81
Figura 7-1 Mapa de localización vial.....	104
Figura 7-2 Verificación de la granulometría del RAP – I.A.....	131
Figura 7-3 Verificación de la granulometría del RAP – CR-2002.....	132
Figura 7-4 Verificación de la granulometría del RAP – U.I.....	132
Figura 7-5 Verificación de la granulometría de la mezcla tipo I – I.A.....	134
Figura 7-6 Verificación de la granulometría de la mezcla tipo I – CR-2002.....	134
Figura 7-7 Verificación de la granulometría de la mezcla tipo I – U.I.....	135
Figura 7-8 Verificación de la granulometría de la mezcla tipo II – I.A.....	136
Figura 7-9 Verificación de la granulometría de la mezcla tipo II – CR-2002.....	137
Figura 7-10 Verificación de la granulometría de la mezcla tipo II – U.I.....	137

Figura 7-11 Curva de energía de compactación – Mezcla tipo I.....	147
Figura 7-12 Curva de energía de compactación – Mezcla tipo II.....	152
Figura 7-13 Curva de estabilidad – Mezcla tipo I.....	162
Figura 7-14 Curva de densidad bulk – Mezcla tipo I.....	162
Figura 7-15 Curva de flujo – Mezcla tipo I.....	163
Figura 7-16 Curva de vacíos – Mezcla tipo I.....	163
Figura 7-17 Curva de variación de la estabilidad – Mezcla tipo I.....	164
Figura 7-18 Curva de absorción de humedad – Mezcla tipo I.....	164
Figura 7-19 Curva de estabilidad – Mezcla tipo II.....	173
Figura 7-20 Curva de densidad bulk – Mezcla tipo II.....	174
Figura 7-21 Curva de flujo – Mezcla tipo II.....	174
Figura 7-22 Curva de vacíos – Mezcla tipo II.....	175
Figura 7-23 Curva de variación de estabilidad – Mezcla tipo II.....	175
Figura 7-24 Curva de absorción de humedad – Mezcla tipo II.....	176
Figura 8-1 Coeficientes estructurales de mezclas asfálticas.....	180

LISTA DE FOTOS

Foto 7-1 Estado (1) – Trabajabilidad escasa.....	141
Foto 7-2 Estado (2) – Trabajabilidad óptima.....	142
Foto 7-3 Estado (3) – Trabajabilidad óptima con exceso de agua.....	142

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AASTHO	: American Association of State Highway and Transportations Officials.
ARRA	: Asphalt Recycling & Reclaiming Association.
ASTM	: American Society for Testing and Materials.
CBR	: California Bearing Ratio.
CCPR	: Cold Central Plant Recycling.
CIR	: Cold In-place Recycling.
CONAVI	: Consejo Nacional de Vialidad.
CONREVIAl	: Consorcio de Rehabilitación Vial.
CP	: Cold Planing.
CRM - 2002	: Especificaciones Generales para la Conservación de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica - 2002.
EEUU	: Estados Unidos de Norte América.
EG - 2000	: Especificaciones Técnicas Generales para Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
FDR	: Full Depth Reclamation.
GC	: Suelo gravoso con matriz arcillosa.
GM	: Suelo gravoso con matriz limosa.
GP	: Suelo gravoso pobremente gradado.
GW	: Suelo gravoso bien gradado.
HF	: High Float.
HIR	: Hot In-place Recycling.
HMA	: Hot Mix Asphalt.
I.A	: Instituto del Asfalto
IRI	: International Roughness Index.
JBIC	: Japan for International Cooperation.

MDS	: Máxima Densidad Seca.
Mr	: Módulo Resiliente.
MS	: Medium Setting.
MS - 19	: Manual Series Nº 19.
MS - 21	: Manual Series Nº 21.
MS - 22	: Manual Series Nº 22.
MTC	: Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción.
NTP	: Norma Técnica Peruana.
OAT	: Oficina de Apoyo Tecnológico.
OGFC	: Open Graded Friction Course.
PBI	: Producto Bruto Interno.
PSI	: Present Serviceability Index.
QA	: Quality Assurance.
QC	: Quality Control
QS	: Quick Setting.
RAP	: Recycling Asphalt Pavement.
RCI	: Riding Comfort Index.
RS	: Rapid Setting.
SINMAC	: Sistema Nacional de Mantenimiento de Carreteras.
SMA	: Stone Matrix Asphalt.
SS	: Slow Setting.
TIR	: Tasa de Interés de Retorno
U.I	: Universidad de Illinois.
VAN	: Valor Actual Neto

INTRODUCCIÓN

El reciclado de pavimentos con emulsión asfáltica es una técnica de conservación de pavimentos que en otros países se viene realizando desde hace más de 20 años. En el país esta técnica, de conservación de pavimentos, no es muy difundida debido al poco conocimiento sobre el tema. El presente trabajo de investigación ha sido dividido en ocho capítulos, abordando temas como los descritos.

El Capítulo 01, "Aspectos Generales", trata sobre el estado situacional de la Red Vial Nacional, su proyección al futuro y el entorno socio económico actual del país.

El Capítulo 02, "Emulsiones Asfálticas", aborda dos temas teóricos de importancia: la reología del asfalto y las emulsiones asfálticas.

El Capítulo 03, "Agregados Pétreos", explica el significado y procedencia del agregado y su utilidad en las mezclas asfálticas.

El Capítulo 04, "Diseño de Mezclas", indica la metodología de diseño de mezclas asfálticas recicladas en frío.

El Capítulo 05, "Especificaciones Técnicas", define los parámetros que permiten realizar el control de calidad de los materiales que participan en la mezcla asfáltica reciclada en frío, así como también de la mezcla reciclada obtenida.

El Capítulo 06, "Reciclado de Pavimentos Flexibles", comenta las estrategias de conservación de pavimentos basadas en el reciclado.

El Capítulo 07, "Aplicación", formaliza lo descrito en la presente tesis, aplicándola en la Carretera Central Tramo San Mateo – La Oroya (Km 97+080 al km 176+319).

Finalmente, el Capítulo 08, "Análisis de los Resultados", evalúa la factibilidad técnica, económica y financiera del reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas.

1.0 ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES

La red vial nacional requirió ser ampliada y sus costos iniciales de construcción fueron más significativos frente a sus costos de mantenimiento rutinario. El aumento del volumen de tráfico pesado, la falta de trabajos de conservación en las vías produjo un rápido deterioro de sus pavimentos, reduciendo significativamente su condición de serviciabilidad y originando incrementos en los costos de transporte de sus usuarios.

El Banco Mundial (2001) mediante estudios pudo determinar que cada \$1.00 no invertido en trabajos de conservación al primer 40% de disminución en la calidad de su pavimento, originaba un gasto de \$ 4.00 a \$5.00 cuando se realizaba estos trabajos de conservación al 80% de pérdida de la calidad original de su pavimento.

A inicios de la década de los años 90, se dio importancia a la construcción y rehabilitación de carreteras, realizándose estudios definitivos por diferentes empresas consultoras, bajo la supervisión del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción (MTCVC). Los estudios contemplaron el mejoramiento del pavimento existente, mediante parchado superficial y profundo, en función al estado en el que se encontraba el pavimento. El Fenómeno de El Niño, durante el año de 1998, dañó las carreteras rehabilitadas. El MTC a través del Sistema Nacional de Mantenimiento de Carreteras (SINMAC) implementó el "Proyecto de Rehabilitación de Carreteras Afectadas por El Niño", cuyos estudios técnicos consideraron la partida de "Fresado del Pavimento Asfáltico Existente", para conseguir la nivelación longitudinal y transversal de la carpeta asfáltica, eliminando las fisuras en la superficie del pavimento, sin afectar la composición de las capas granulares. El material obtenido del fresado se eliminó, llevándolos a botaderos establecidos por el proyectista, sin dar opción de reutilizarse.

En la actualidad se cuenta con una red vial de 78,397 kilómetros de longitud, integrada longitudinal y transversalmente por carreteras asfaltadas, afirmadas y sin afirmar, compuesta de la manera siguiente:

- Red Vial Nacional: Conformada por 16,857 kilómetros de longitud que representa el 22% de la red vial, clasificándose de acuerdo al estado de capa de rodadura, según se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro 1-1 Composición de red vial nacional.

Nivel	Longitud (km.)	Participación (%)	Estado del Pavimento (%)		
			Bueno	Regular	Malo
Asfaltada	8531.00	50.00	34.00	51.00	15.00
Afirmada	5160.00	31.00	3.00	34.00	63.00
Trocha	1106.00	7.00	100.00	—	—
Proyectada	2112.00	12.00	—	—	—

Fuente: Plan Estratégico Institucional 2007 – 2011, MTC.

- **Red Vial Departamental:** Conformada por 14,250 kilómetros de longitud que representa el 18% de la red vial, clasificándose según el nivel de superficie de rodadura de la manera siguiente:

Cuadro 1-2 Composición de la red vial departamental.

Nivel	Longitud (km.)	Participación (%)
Asfaltada	1140.00	8.00
Afirmada	5985.00	42.00
Sin Afirmar	7125.00	50.00

Fuente: Plan Estratégico Institucional 2007 – 2011, MTC.

- **Red Vial Local:** Conformada por 47,289 kilómetros de longitud y representa el 60% de la red vial.¹ Clasificándose por su estado como se indica a continuación:

Cuadro 1-3 Composición de red vial local.

Estado	Longitud (km.)	Participación (%)
Bueno	11100.00	24.00
Regular	15650.00	33.00
Malo	20539.00	43.00

Fuente: Elaboración propia.

Las restricciones presupuestales y los crecientes requerimientos de las organizaciones civiles regionales, han dado lugar a disminuir la asignación destinada al mantenimiento de las vías. Esto obliga a disminuir la calidad y

¹ Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Plan Estratégico Institucional 2007 – 2011, Diciembre 2007, p.3.

cobertura de las actividades de conservación, dilatando los períodos de ejecución, especialmente los referidos al mantenimiento periódico. Actualmente sólo el 34% de la red total de carreteras está sometida a algún tipo de conservación y sólo el 12.5% cuenta con mantenimiento permanente.²

De acuerdo al diagnóstico realizado por el MTC en el año 2007, el costo por movilizar bienes representa en promedio el 40% del costo total, mientras que el referente en países de América del Sur es de 20%; restándole competitividad al país.³

El crecimiento económico del país exige la expansión de su red vial en un corto periodo de tiempo; durante este tiempo el pavimento de las carreteras que se encuentran asfaltadas se avejentarán y de no aplicar una buena estrategia de rehabilitación y conservación de carreteras, estas llegarán a la etapa final de su vida útil, requiriendo posteriormente la reconstrucción total del camino.

El reciclado en frío de pavimentos flexibles resulta ser una buena estrategia de rehabilitación y conservación de las carreteras, por los múltiples beneficios que esta alternativa ofrece. Estos beneficios recaen directamente en la disminución de los costos, tiempos muertos y contaminación del medio ambiente.

La disminución de los costos se da porque los materiales a emplear son producto de la reutilización del pavimento existente, siendo aplicados en el mismo lugar o fuera de él, eliminando los costos de explotación y transporte del material de préstamo.

La eliminación de los tiempos muertos como resultado del no cierre de la vía ya que la metodología se desarrolla en paralelo, sin interrumpir el tránsito de los vehículos que circulan por el lugar.

La disminución de la contaminación ambiental al no existir volatilización y emisión de componentes tóxicos al medio ambiente.

Desde hace 20 años los países en desarrollo vienen empleando esta metodología, obteniendo buenos resultados. El Perú no debería ser la excepción, debido a que más del 80% de su red vial se encuentra no pavimentada y con el ahorro que se generaría aplicando esta metodología podría terminar de pavimentarse, mejorando el nivel de serviciabilidad de sus carreteras.

² Ministerio de Transportes y Comunicaciones, op.cit., p.30.

³ Ministerio de Transportes y Comunicaciones, op.cit., anexo 01.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Considerar que el reciclado de pavimentos en frío, empleando emulsiones asfálticas catiónicas, es una buena alternativa para los trabajos de mantenimiento de pavimentos.

1.2.1 Objetivos Específicos

La presente tesis presenta los objetivos específicos siguientes:

- **Caracterizar los materiales a emplear, como los agregados, emulsión y RAP, mediante ensayos de control de calidad, realizados en laboratorio.**
- **Sustentar la factibilidad técnica del reciclado en frío de pavimento asfáltico, mediante la elaboración en laboratorio de diseños de mezcla compuestos por agregado, RAP y emulsión, que cumplan con las especificaciones técnicas.**
- **Evaluar la factibilidad económica del reciclado de pavimentos con mezclas emulsionadas.**
- **Mostrar las ventajas del reciclado de pavimentos con respecto a los métodos tradicionales de rehabilitación de carreteras.**

1.3 ALCANCE DE LA TESIS

El alcance del presente trabajo de investigación, es mostrar la factibilidad técnica y económica del reciclado en frío de pavimentos, mostrando los beneficios directos e indirectos de su empleo en la conservación de pavimentos.

1.4 METODOLOGÍA DEL TRABAJO

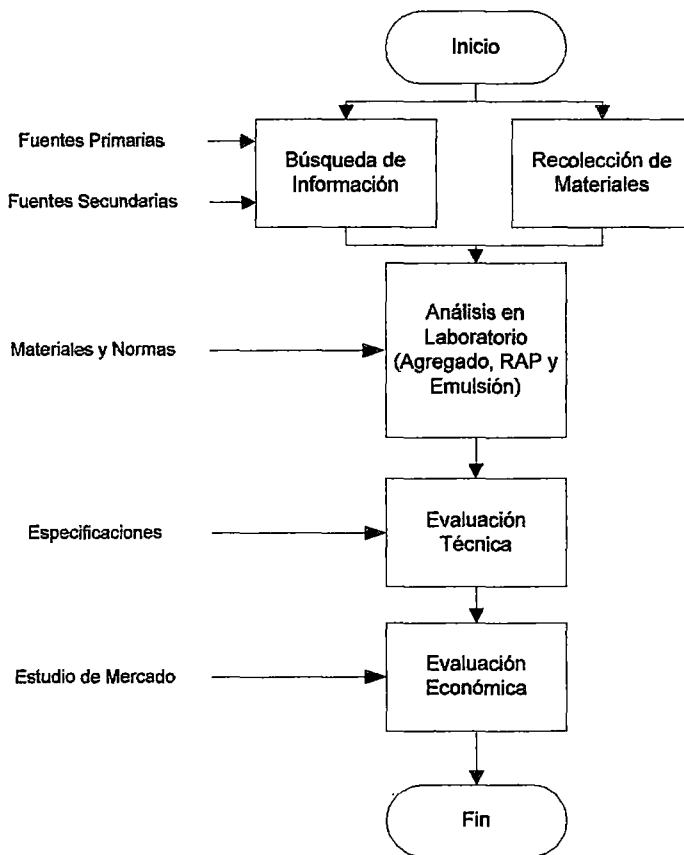
La metodología empleada para el desarrollo de la tesis, consideró las etapas siguientes:

- **Búsqueda de Información:** Basada en la recolección y clasificación de información obtenida en libros, revistas, artículos y entrevistas a expertos.
- **Recolección de Materiales:** Consiste en la búsqueda de materiales de mezcla bituminosa, tales como RAP, agregados y emulsión.
- **Análisis en Laboratorio:** Consiste en la realización de ensayos de control de calidad de los materiales y mezcla obtenida.
- **Evaluación Técnica:** Verificación del cumplimiento de los resultados obtenidos en laboratorio con los parámetros indicados en las especificaciones técnicas internacionales.

- **Evaluación Económica:** Obtención de indicadores que sustenten la factibilidad del proyecto.

A continuación se muestra un diagrama de flujo de la metodología empleada, en el desarrollo de la presente tesis.

Figura 1-1 Metodología de investigación.



Fuente: Elaboración propia.

2.0 EMULSIONES ASFÁLTICAS

Los asfaltos empleados a nivel mundial generalmente provienen de la destilación de los crudos de petróleo. El asfalto se produce en una variedad de tipos y grados que van desde sólidos, duros y frágiles. Llegan a comportarse como fluidos newtonianos por efectos del calentamiento, por adiciones de solventes o por emulsificación.

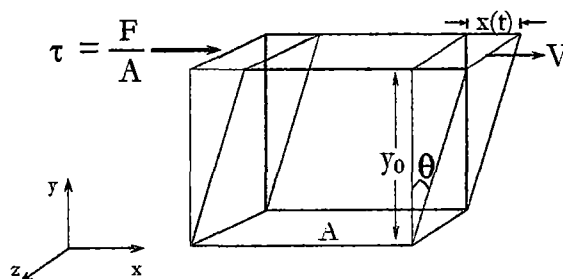
Cuando un solvente de petróleo, tal como nafta o kerosene, se adiciona al asfalto base para hacerlo fluido, el producto se llama asfalto rebajado (cut – back), pero si el asfalto rompe en partículas minúsculas y dispersas en agua por medio de un emulsificante, se convierte en una emulsión asfáltica. Los glóbulos disminuidos de asfalto permanecen uniformemente en suspensión hasta su empleo en algún proceso constructivo.

2.1 REOLOGÍA DEL ASFALTO

La reología es la ciencia que estudia la relación de los esfuerzos y las deformaciones (cortantes y rotacionales) que experimentan los materiales. En el fluido, la viscosidad permite cuantificar esa relación, mientras que la fluidez representa el estado inverso.

Sea γ la deformación unitaria que experimenta el fluido debido al esfuerzo tangencial (ζ), V la velocidad de deformación en la dirección del esfuerzo tangencial, entonces la razón de deformación ($\dot{\gamma}$) será el resultado de dividir V entre el la longitud del lado perpendicular a la dirección del esfuerzo cortante; por tanto, la viscosidad (η) se obtiene dividiendo el esfuerzo tangencial con la razón de deformación. Del gráfico puede deducirse que:

Figura 2-1 Deformación del material por esfuerzos axiales.



Fuente: Dr. Abel Gaspar – Rosas, TA Instruments Inc.

$$\text{Deformación Unitaria } (\gamma) = \frac{x(x)}{y_0}$$

$$\text{Razón de Deformación } (\dot{\gamma}) = \frac{dx(x)}{dt} = \frac{V}{y_0}$$

$$\text{Viscosidad } (\eta) = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

La viscosidad absoluta o dinámica, es la resistencia que ofrece un fluido al movimiento relativo de sus partículas, medida en unidades fundamentales de masa, longitud y tiempo. Para fluidos newtonianos es la fuerza tangencial por unidad de área, esto puede experimentarse, cuando el espacio entre dos placas paralelas es ocupado por el fluido y una de las placas es movida a una velocidad de 1 cm./seg.

Por tanto:

$$\eta = \frac{F}{A * \frac{dv}{dy}}$$

Donde:

- η : Viscosidad absoluta (poise).
- F : Fuerza aplicada en dinas.
- A : Área de la placa (cm²).

La viscosidad cinemática del fluido newtoniano viene a ser el cociente de la viscosidad y la densidad, ambas medidas realizadas a la misma temperatura.

Por tanto:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Donde:

- ν : Viscosidad cinemática (stoke).
- η : Viscosidad absoluta (1Poise = 1Pa.s).
- ρ : Densidad (kg./m³).

Los asfaltos son betunes sólidos y semisólidos de color negro o castaño que desarrollan propiedades ligantes y cuya consistencia disminuye al ser calentados, comportándose como fluidos altamente viscosos.

La vida útil de un pavimento asfáltico depende de un gran número de factores que se relacionan fundamentalmente con el tipo de mezcla, con las condiciones de servicio y la durabilidad del betún empleado.

La durabilidad del betún es la capacidad de mantener sus propiedades ligantes y cohesivas durante la vida útil, para la cual fue diseñada el pavimento. Por tanto la

durabilidad de un pavimento bituminoso está en función de las propiedades de flujo y consistencia del ligante en el pavimento. Esta consistencia estará asociada con la consistencia inicial del asfalto, con la susceptibilidad a endurecimiento del asfalto en el pavimento. Cuando esta consistencia alcanza valores muy elevados, especialmente a bajas temperaturas el asfalto se torna frágil y quebradizo, produciendo la rotura de la película que recubre a los agregados, permitiendo que el agua penetre y deteriore el pavimento.

El comportamiento reológico del betún está determinado por su composición química y por la disposición física de los compuestos hidrocarbonados que predominan en el material. Cambios en su composición o estructura harán que existan cambios en su reología, permitiendo el cambio que permite conocer el grado de envejecimiento que experimenta el asfalto en el transcurso del tiempo. Los asfaltos pueden experimentar estos cambios bajo dos circunstancias:

- Durante la operación de mezclado en la planta asfáltica, el asfalto se expone a la acción del oxígeno a temperaturas elevadas en espesores muy finos. Principalmente se produce la volatilización de fracciones livianas del asfalto y su oxidación, magnificada por el tiempo y la temperatura de mezclado.
- Durante el período de servicio, el asfalto ve alterada sus propiedades debido al proceso de oxidación (factor principal de endurecimiento de los asfaltos). Esta reacción es catalizada por la luz, siendo mucho más rápida que la producida en la oscuridad, en razón de que los asfaltos son buenos para absorber la luz. La reacción de oxidación catalizada por la luz tiene lugar en los primeros 5 micrones de película de asfalto expuesta, mientras que la reacción de oxidación en ausencia de luz, es más lenta y tiene lugar principalmente en el interior de la capa asfáltica. La velocidad de reacción está influenciada por la temperatura y es aproximadamente duplicada por cada 10°C de aumento de la misma, por lo tanto una elevada temperatura del aire es factor significativo que afecta la velocidad y magnitud del endurecimiento de los asfaltos. Luego pavimentos expuestos a gradientes térmicos elevados serán susceptibles al envejecimiento prematuro de su ligante asfáltico.

2.2 EMULSIÓN

Existen diversos productos emulsificados, donde están involucrados procesos mecánicos y químicos que permiten la combinación de dos o más materiales, que no se mezclarían bajo condiciones normales. Se ha dedicado un campo científico completo al estudio de la emulsión asfáltica empleada en el área de construcción.

El uso y empleo de la emulsión asfáltica, en proyectos viales, se realiza desde 1920. Inicialmente se empleaba para el riego y reducción del polvo. El incremento en el uso de este tipo de producto fue dándose de manera lenta, debido a su poca disponibilidad y diversificación. Conforme se desarrollaron y crearon nuevos tipos y grados acorde con los equipos y metodologías empleadas en la construcción vial, fueron ofreciéndose alternativas viables y sostenibles en el tiempo.

2.3 COMPONENTES

La emulsión asfáltica tiene tres componentes básicos: asfalto, agua y agente emulsivo. En algunos ocasiones la emulsión puede contener otros aditivos, como estabilizantes, mejoradores de recubrimiento, mejoradores de adherencia o agentes de control de rotura.

El agua y el asfalto no se mezclan, excepto en condiciones cuidadosamente controladas, utilizando equipos de alta especialización y aditivos químicos. Se logra, mediante la dispersión estable del cemento asfáltico en el agua, la cual deberá ser lo suficientemente estable para ser bombeada, almacenada durante tiempo prolongado y posteriormente mezclada. Otra de las propiedades de la emulsión es la de rotura -separación del agua del asfalto- inmediata al contacto con el agregado en un mezclador. Al curar, el residuo asfáltico conserva la capacidad adhesiva, la durabilidad y la resistencia al agua.

El asfalto llega a constituir entre el 50% y el 75% de la emulsión. Las emulsiones generalmente tienen como base de cemento asfáltico aquellos cuyas penetraciones varían entre 60 y 250. Ello le permitirá adecuarse fácilmente a las condiciones climáticas exigidas para cada proyecto. La estructura coloidal del asfalto dependerá de la naturaleza química y del porcentaje de participación de las moléculas de hidrocarburos y la relación que existen entre ellas.

El agua, cuya contribución a las propiedades deseadas es importante, contiene minerales o elementos que pueden afectar la producción de emulsiones asfálticas estables. La presencia de los iones de calcio y magnesio favorece en la formación

de una emulsión catiónica estable, pero resultan perjudiciales para las de tipo iónico.

Los agentes emulsificantes, son tenso-activos, solubles en agua, cuya presencia en la solución cambia las propiedades del solvente y de las superficies con las que entran en contacto, y pueden clasificarse por la forma como se disocian o ionizan con el agua. El agente emulsivo mantiene las gotitas de asfalto en suspensión estable, controlando a su vez el tiempo de rotura por ser el factor determinante para la clasificación de las emulsiones asfálticas, aniónicas, catiónicas o no-iónicas.

2.4 TIPOS

Las emulsiones asfálticas se clasifican en tres categorías: aniónica, catiónica y no iónica, siendo las dos primeras las más utilizadas en la construcción y mantenimiento de carreteras. Se denominan así debido a la carga eléctrica que rodean sus partículas de asfalto. Si la corriente eléctrica pasara a través de la emulsión que contiene partículas de asfalto cargadas negativamente, estas migrarán al ánodo; de ahí el nombre de emulsión aniónica; en el caso inverso, si se tiene una emulsión con partículas de asfalto cargadas positivamente, dichas partículas migrarán hacia el cátodo, entonces se tratará de una emulsión catiónica. Para el caso de emulsiones no iónicas, las partículas de asfalto son eléctricamente neutras por lo que no migrarán a polo alguno.

2.5 CLASIFICACIÓN

Una segunda clasificación de las emulsiones se basa en la velocidad con que las gotitas de asfalto coalescen o se juntan restaurando el volumen de cemento asfáltico. La siguiente terminología RS (rapid-setting, rotura rápida), MS (medium-setting, rotura media), SS (slow-setting, rotura lenta) y QS (quick-setting, rotura medianamente lenta), denotan el tiempo de rotura, indicada respectivamente. La tendencia a coalescer está íntimamente relacionada con la rapidez con que la emulsión se vuelve inestable y rompe tras entrar en contacto con la superficie del agregado; por tanto, una emulsión RS tiene poca o ninguna capacidad para mezclarse con agregados, la emulsión MS será capaz de mezclarse con el agregado grueso y no con el fino, mientras que las emulsiones SS y QS están diseñadas para mezclarse con agregados finos, teniendo la QS mayor velocidad de rompimiento que la SS.

Finalmente, las emulsiones están identificadas por una serie de números y letras que aluden su viscosidad y la consistencia de la base de cemento asfáltico que contienen. Por ejemplo, la letra "C" identificará a las emulsiones catiónicas mientras que la ausencia de la misma identificará a las emulsiones aniónicas. Siguiendo las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) y AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). La numeración indica la viscosidad relativa de la emulsión. El sufijo "h" significa que la base asfáltica es más consistente o dura (hard), mientras que el sufijo "s" significa que la base asfáltica es más blanda (soft). Algunas veces la terminología es precedida por las letras "HF" y significa que es de alta flotación (high-float). De lo anterior se obtiene el cuadro siguiente.

Cuadro 2-1 Clasificación de las emulsiones asfálticas.

Emulsión Asfáltica Aniónica (ASTM D977, AASHTO M140)	Emulsión Asfáltica Catiónica (ASTM D2397, AASHTO M208)
RS - 1	CRS - 1
RS - 2	CRS - 2
HFRS - 2	—
MS - 1	—
MS - 2	CMS - 2
MS - 2h	CMS - 2h
HFMS - 1	—
HFMS - 2	—
HFMS - 2h	—
HFMS - 2s	—
SS - 1	CSS - 1
SS - 1h	CSS - 1h

Fuente: Emulsiones Asfálticas (MS - 19).

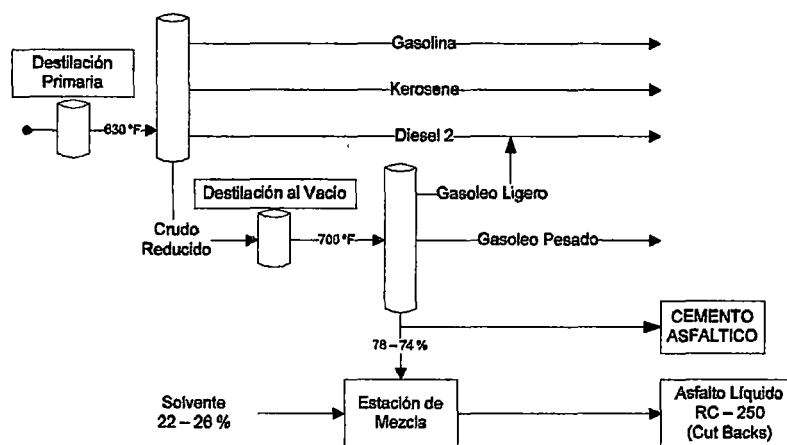
Cabe resaltar que actualmente en el mercado existen emulsiones asfálticas catiónicas modificadas con polímeros. Los polímeros, mejoran las propiedades mecánicas y reológicas, disminuyen la susceptibilidad térmica y los tiempos de aplicación de carga, aumentan la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un campo más amplio de temperaturas, tensiones y tiempos de carga, mejoran la adhesividad de los agregados. Los tipos utilizados son los termo-fijos

(resinas epóxicas, poliuretanos, poliésteres) y los termoplásticos como el cloruro de polivinilo (PVC), polietileno y poli-isobutilenos, SBR (hule estireno-butadieno), EVA (etileno-acetato de vinilo) y SBS (estireno-butadieno-estireno), hule natural y artificial. Estos también pueden utilizarse en combinaciones especiales que tienen la característica de ser tratamientos muy específicos y costosos: alquitrán- vinilo, alquitrán-epoxi, asfalto-epoxi y alquitrán-poliuretano. Pero los polímeros más usados son los tipos SBS y SBR.

2.6 ELABORACIÓN EN PLANTA

El componente básico de la emulsión es el cemento asfáltico. El proceso de producción, se muestra de forma resumida en el esquema siguiente:

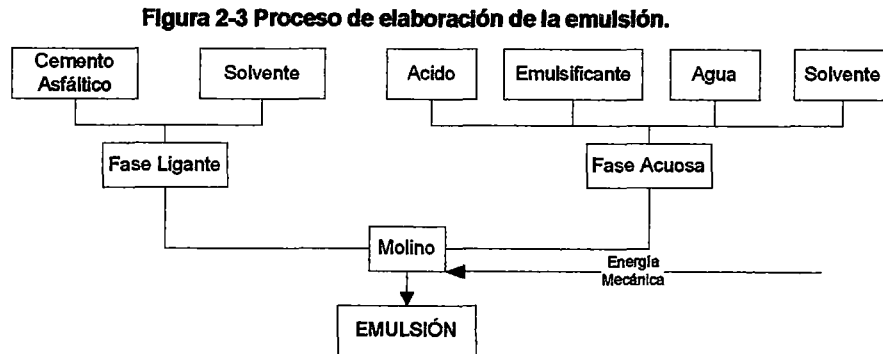
Figura 2-2 Proceso de elaboración de los asfaltos.



Fuente: Los Asfaltos y sus Aplicaciones – PETROPERU.

En el proceso de producción de las emulsiones asfálticas, se emplea un equipo de molino coloidal, que es alimentado con cemento asfáltico en caliente, y dividido en pequeñas gotas. Al mismo tiempo ingresa al molino el agua conteniendo el agente emulsivo. El asfalto que ingresa al molino se calienta para disminuir su viscosidad, además, la temperatura del agua se ajusta para optimizar el proceso de emulsificación. Estas temperaturas son variables, y dependen de las características de emulsificación del cemento asfáltico, así como del grado de compatibilidad del asfalto con el agente emulsivo. Cabe resaltar que el asfalto no experimenta altas temperaturas, debido a que la temperatura de la emulsión al abandonar el molino debe ser inferior al punto de ebullición del agua. Posteriormente, la emulsión será transportada mediante bombeo a tanques de almacenamiento a granel, estos tanques pueden estar equipados con agitadores mecánicos para mantener la

uniformidad de la emulsión. Lo descrito anteriormente, puede observarse de forma resumida en el esquema siguiente.



Fuente: Los Asfaltos y sus Aplicaciones – PETROPERU.

2.7 USOS Y VENTAJAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Los principales usos que se dan a las emulsiones asfálticas son: tratamientos superficiales, parchado superficial, estabilización, sellos y lechadas asfálticas.

Las ventajas de emplear las emulsiones asfálticas son:

- No requieren solvente de petróleo, ni calentamiento alguno para estar en estado líquido; lo que contribuye con el ahorro de energía.
- Eliminación de poluciones de sustancias tóxicas.
- Gran capacidad de recubrimiento de los agregados a temperatura ambiente, sin requerir un calentamiento previo.
- Facilidad en su empleo a bajas temperaturas.
- Prolongan la vida útil del pavimento si son usados en el mantenimiento preventivo de las carreteras.
- Actualmente existe variedad de emulsiones asfálticas que permiten su fácil diseño y empleo en proyectos viales.

Las emulsiones por ser una sustancia dispersa de finas gotas de cemento asfáltico en agua tienen ventajas y desventajas propias del medio de dispersión (agua), por lo que debe tenerse en consideración las recomendaciones siguientes:

Cuadro 2-2 Recomendaciones de uso de las emulsiones asfálticas.

Recomendación Proceso	Sí	No
Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenar a temperaturas comprendidas entre 10 °C y 85 °C; estará en función al 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentar la emulsión por encima de los 85 °C porque evaporan el agua modificando

Recomendación Proceso	Sí	No
	<p>tipo de emulsión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento térmico de los tanques de almacenamiento. • Los tanques de almacenamiento serán verticales y de gran altura de modo que se expone menos superficie de emulsión asfáltica al aire. 	<p>las características de la emulsión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Congelar, debido a que produce la rotura de la emulsión separando el asfalto del agua.
<p>Manipulación y Transporte</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agitación suave durante el calentamiento para eliminar o reducir la formación de capas delgadas. • Agite aquellas emulsiones que han estado almacenadas por períodos largos de tiempo. • Emplear agua caliente para la dilución y debe agregarse a la emulsión y no de forma inversa. • Para el transporte utilice camiones con placas deflectoras para evitar una excesiva agitación de la emulsión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mezclar clases, grados y tipos diferentes de emulsiones asfálticas. • Diluir emulsiones asfálticas de rotura rápida en agua; las de rotura media y lenta pueden ser diluidos pero agregando agua de forma gradual. • Cargarlas en tanques de almacenamiento o de transporte, auto – tanques, o distribuidores con residuos de materiales incompatibles. • Exponga a llamas, calor o potentes oxidantes, para lo cual se requerirá una adecuada ventilación.

Fuente: Emulsiones Asfálticas (MS – 19) y elaboración propia.

2.8 EMULSIONES ASFÁLTICAS Y AGREGADOS

Las combinaciones de emulsión y agregados, estarán en función del tipo de tratamiento y construcción a emplearse en el pavimento asfáltico.

Cuadro 2-3 Usos constructivos de las emulsiones asfálticas.

Tipo	Descripción y Uso
Tratamiento superficial simple (chip seal)	Método de mantenimiento de bajo costo. Provee una superficie para todo tipo de climas, renueva el pavimento envejecido, mejora la resistencia al deslizamiento y sella pavimentos.
Tratamiento superficial doble	Dos aplicaciones de ligante y de agregado. Para la segunda aplicación de agregados se emplea un tamaño menor que el correspondiente a la primera. Durable, aporta nivelación y presenta variedad de texturas.
Tratamiento superficial triple	Tres aplicaciones de ligantes y de tres tamaños de agregados. Provee un pavimento flexible de hasta 20mm. de espesor. Provee nivelación y a la vez una superficie de sellado muy resistente al desgaste.
Cape seal	Combina un tratamiento superficial simple con una lechada asfáltica. Reduce la rugosidad de la superficie del pavimento pero a la vez le brinda durabilidad.
Sellado doble (sandwich seal)	Mejora la resistencia al deslizamiento y sirve como sellador de pavimentos.
Sellado con arena (sand seal)	Restaura la uniformidad de la superficie. Rejuvenece el pavimento envejecido y reduce el desprendimiento.
Lechada asfáltica (slurry seal)	Empleada en el mantenimiento de aeropuertos y calles de ciudad. Sellado y nivelado de depresiones menores.
Micro aglomerado (micro – surfacing)	Recapeado de alta performance empleado en el mantenimiento de carreteras, calles urbanas y aeropuertos donde se requiere una superficie durable y resistente a la fricción. Corrige rápidamente la superficie de un camino.
Riego de sellado (seal coat)	Se aplica a superficies asfálticas existentes, mejora la apariencia, sella de manera parcial fisuras y rejuvenece el pavimento asfáltico existente.
Riego pulverizado (fog seal)	Una ligera aplicación de riego ligante aplicado a la superficie de un tratamiento superficial, una mezcla abierta o una superficie de mezcla en caliente envejecida. Funciona parcialmente como sellador de fisuras, reduce el desprendimiento y rejuvenece las superficies.

Tipo	Descripción y Uso
Reciclado en frío	Se realiza en planta central o fija e in – situ, siendo el más usado el ultimo. Consiste en el fresado del pavimento existente, luego es pulverizado y mezclado con la emulsión asfáltica para posteriormente ser extendida y compactada, llegando a conformar la base. Las bases recicladas en frío requieren una nueva superficie asfáltica. Para pavimentos de bajo tráfico puede aplicársele un tratamiento superficial. Para tráfico pesado puede aplicarse un tratamiento de superficie con emulsión modificada o una carpeta de rodamiento de mezcla asfáltica en caliente.
Recuperación full - depth	Toda la sección del pavimento y material subyacente se mezcla con la emulsión asfáltica para construir una base estabilizada. Con este proceso constructivo los problemas de base son corregidos y tiene seis etapas: pulverización, incorporación de emulsión, extendido, compactación, perfilado y colocación de la nueva superficie asfáltica.

Fuente: Emulsiones Asfálticas (MS – 19) y elaboración propia.

3.0 AGREGADOS PETREOS

Proviene de la trituración de las rocas, y generalmente están compuestas por granito. La producción comienza en la cantera de agregados donde empleando maquinaria pesada se recogen las rocas de granito que caen tras volar las paredes del macizo rocoso existente. Posteriormente son transportadas y depositadas en la trituradora principal, una máquina cuyas mandíbulas de acero transforman las enormes rocas en fragmentos de tamaño máximo igual a 20 cm., estos fragmentos son transportados mediante fajas transportadoras a un edificio de criba donde son clasificados en función a su tamaño al caer sobre una serie de rejillas metálicas, cuyos agujeros no superan los 10 cm. de ancho, las rocas más grandes se envían a una segunda trituradora que logra reducir las rocas de tamaños inferiores a los 10 cm., después son enviadas a una tercera o cuarta trituradora que las transforma en fragmentos, con tamaños que no superan los 2 cm. Mientras que las rocas que son bastante pequeñas, como para pasar por las rejillas, se saltan la trituradora secundaria y son enviadas directamente a la tercera, las rocas más grandes terminarán midiendo 2 cm. Los fragmentos que no superan los 5 mm., son depositados mediante pilas que incluye el polvo de roca resultante del triturado, las piedras entre 10 y 14 milímetros, y las de 5 y 10 milímetros se depositan de la misma forma pero en pilas distintas. Los camiones llevan el material de cada pila a distintos compartimentos llamados tolvas de alimentación, obteniendo con ello cuatro materiales: Arena, polvo de roca, rocas de 3/8" y rocas de 1/4".

3.1 DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA CANTERA

El estudio de canteras tiene por objetivo determinar el volumen y calidad de los materiales de aporte disponibles para la construcción.

Mediante labores de reconocimiento de campo en el área de influencia del proyecto, se identifica de forma visual zonas que contienen material de aporte útil. Para poder verificar lo observado se realizan exploraciones de campo, que consisten en la excavación de calicatas, mediante un sistema de mallas, cuyos resultados de campo se correlacionan entre sí para poder determinar la potencia y tipo de agregado predominante. De forma paralela se extraen muestras representativas que son transportadas al laboratorio para ser ensayadas para determinar sus propiedades físico-mecánicas, y según ello, establecer los diferentes usos que se le podrá dar al material durante los trabajos de rehabilitación

de la carretera, tales como relleno, subrasante, base, sub-base, agregados para asfalto y concreto. En el presente proyecto se han identificado las canteras siguientes:

3.1.1 Cantera Chiuri

Se ubica en el lecho del río Blanco, en la progresiva 102+660 de la carretera Central. Al lado derecho de la carretera, se encuentra el acceso (camino a la presa Yuracmayo), que es una trocha carrozable de 3,900 m. de longitud. Se realizaron 8 excavaciones a cielo abierto de 1.0 y 1.5 metros de profundidad y fueron evaluadas considerando una muestra integral, obteniendo los resultados siguientes:

Cuadro 3-1 Composición por tamaño – Cantera Chiuri.

Característica	Valor
Diámetro máximo 10" (mm.)	254
Material para chancar de 1" a 10". (%)	37.0
Agregado de grueso de 1" a 3/8". (%)	20.2
Agregado fino de 3/8" a No 100. (%)	37.0

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL

Los ensayos en laboratorio han permitido determinar las características típicas del material de grava de forma redondeada, color gris, con 20% de boleos sub redondeados mayores a 2" y con tamaño máximo de 10", distribuidos en 47% de grava, 28.4% de arena y 4.5% de finos no plásticos. El material menor de 2" tiene la distribución siguiente:

Cuadro 3-2 Granulometría – Cantera Chiuri.

Material	Cantidad (%)
Grava.	58.8
Arena.	35.6
Finos.	5.7

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

El material se clasificó como:

Cuadro 3-3 Clasificación de suelo – Cantera Chiuri.

Sistema de Clasificación	Resultado
SUCS	GP
AASHTO	A – 1 – a (0)

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

El área explotable es de 23 000 m² y una potencia de 1.5 m, con lo que resulta un volumen disponible de 34 500 m³. La eficiencia de la cantera se ha determinado de la curva integral cuyo tamaño máximo es el límite de la curva, obteniendo el resultado siguiente:

Cuadro 3-4 Eficiencia – Cantera Chiuri.

Gradación	Eficiencia (%)
Grava de 1" a 3/8".	20
Arena menor de 3/8".	37

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

La disponibilidad de materiales se calcula relacionando el volumen total disponible con su respectiva eficiencia, obteniendo lo siguiente:

Cuadro 3-5 Potencia efectiva – Cantera Chiuri.

Material	Cantidad (m ³)
Grava.	7,800
Arena.	14,430
Para chancar de 1" a 10"	14,430

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

3.1.2 Cantera Cut – Off

Se ubica en el lecho del río Yauli, en la progresiva 158+200 de la carretera Central. Al lado derecho de la carretera se encuentra el acceso, que es una trocha carrozable de 150 m. de longitud.

Se realizaron 10 excavaciones a cielo abierto de 2.5 y 3.0 metros de profundidad y fueron evaluadas considerando una muestra integral, obteniendo los resultados siguientes:

Cuadro 3-6 Composición por tamaño – Cantera Cut – Off.

Característica	Valor
Diámetro máximo 5" (mm.)	127
Material para chancar de 1" a 5". (%)	28.3
Agregado de grueso de 1" a 3/8". (%)	21.1
Agregado fino de 3/8" a No 100. (%)	41.2

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Los ensayos en laboratorio han permitido determinar las características típicas del material: grava limosa de forma redondeada, presenta un 15% de boleos

redondeados mayor a 2" y con tamaño máximo de 5", distribuidos en: 46% de grava, 31 % de arena y 8 % de finos no plásticos. Además el material menor de 2" tiene la distribución siguiente:

Cuadro 3-7 Granulometría – Cantera Cut – Off.

Material	Cantidad (%)
Grava.	54.3
Arena.	36.3
Finos.	9.4

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

El material se clasificó como:

Cuadro 3-8 Clasificación de suelo – Cantera Cut – Off.

Sistema de Clasificación	Resultado
SUCS	GW - GM
AASHTO	A - 1 - a (0)

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

El área explotable tiene 50 000 m² y una potencia de 4.0 m., con lo que resulta un volumen disponible de 200 000 m³. La eficiencia de la cantera se ha determinado de la curva integral cuyo tamaño máximo es el límite de la curva, obteniendo el siguiente resultado:

Cuadro 3-9 Eficiencia – Cantera Cut – Off.

Gradación	Eficiencia (%)
Grava de 1" a 3/8".	21
Arena menor de 3/8".	41

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

La disponibilidad de materiales se calcula relacionando el volumen total disponible con su respectiva eficiencia, obteniendo lo siguiente:

Cuadro 3-10 Potencia efectiva – Cantera Cut – Off.

Material	Cantidad (m ³)
Grava.	42000
Arena.	82000
Para chancar de 1" a 5"	56000

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

3.1.3 Cantera Shayanca

Se ubica en la progresiva 102+660 de la carretera Central. En el mismo acceso de la cantera Chiuri, que es una trocha carrozable de 950 m. de longitud. Esta cantera está conformada por un manto de roca andesita fracturada, la cual se ha localizado como complemento de la cantera Chiuri y se empleó exclusivamente en la fabricación de concreto asfáltico. Tiene un área de explotación de 3 000 m². y una potencia de 13.0 m., con lo que se tiene un volumen disponible de 39 000 m³.

Las características de las canteras fueron evaluadas, concluyendo que Chiuri, y Cut-Off pueden ser utilizadas en la elaboración de concreto hidráulico, asfáltico y para la formación de base granular, requiriéndose trituración parcial y debido a la presencia de finos plásticos requerirán lavado. Además se consideró la instalación de tres plantas chancadoras (una en Chiuri, Ticlio y Cut-Off respectivamente) y cuatro de asfalto (una en Chiuri, otra en Ticlio y dos en Cut-Off), para procesar el material de las canteras. Del balance de materiales realizada a las canteras se concluyó que Chiuri es suficiente para cubrir el tramo comprendido entre las progresivas 97+000 y 118+000, Ticlio es suficiente para cubrir el tramo comprendido entre las progresivas 118+000 y 145+000 y finalmente Cut-off es suficiente para cubrir el tramo comprendido entre las progresivas 145+000 y 176+320.

4.0 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

4.1 COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

Las mezclas asfálticas, son aglomerados que están formados por una combinación de agregados pétreos y un ligante de hidrocarbonato, de manera que los agregados quedan cubiertos por una película continua de ligante. Pueden ser fabricados en plantas centrales fijas o móviles para ser transportados a obra y allí ser extendidos y compactados.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Las mezclas asfálticas pueden clasificarse en función a los parámetros siguientes:

- a. Por la cantidad de agregado pétreo empleado
 - Masilla asfáltica: Compuesto por polvo mineral y ligante asfáltico.
 - Mortero asfáltico: Compuesto por agregado fino y masilla.
 - Concreto asfáltico: Compuesto por agregado grueso y mortero.
 - Macadam asfáltico: Compuesto por agregado grueso y ligante asfáltico.
- b. Por la temperatura de puesta en obra
 - Mezclas asfálticas en caliente: Son fabricadas con asfaltos a temperaturas superiores a las del medio ambiente para ser fácilmente extendidas y compactadas.
 - Mezclas asfálticas en frío: Son fabricados con asfaltos emulsionados o fluidificados y puestos en obra a temperatura ambiente.

- c. Por la proporción de vacíos en la mezcla

Este parámetro es importante ya que evita que no se produzcan deformaciones como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- Mezclas cerradas o densas: Si la proporción de vacíos no supera el 6%.
- Mezclas semi – cerradas o semi – densas: Si la proporción de vacíos está entre 6% y 10%.
- Mezclas abiertas: Si la proporción de vacíos supera el 12%.
- Mezclas porosas o drenantes: Si la proporción de vacíos es superior al 20%.

- d. Por el tamaño máximo del agregado pétreo
- Mezclas gruesas: Si el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10mm.
 - Mezclas finas: Denominadas microaglomerados o también morteros asfálticos, son mezclas formadas básicamente por árido fino incluyendo el polvo mineral y ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado determinará el espesor mínimo con el que ha de extenderse la mezcla, resultando ser el doble o triple del tamaño máximo.
- e. Por la granulometría
- Mezclas Continuas: Conformado por diferentes tamaños de agregado y distribuidos uniformemente en el huso granulométrico.
 - Mezclas Discontinuas: Conformado por diferentes tamaños de agregado y distribuidos heterogéneamente en el huso granulométrico.

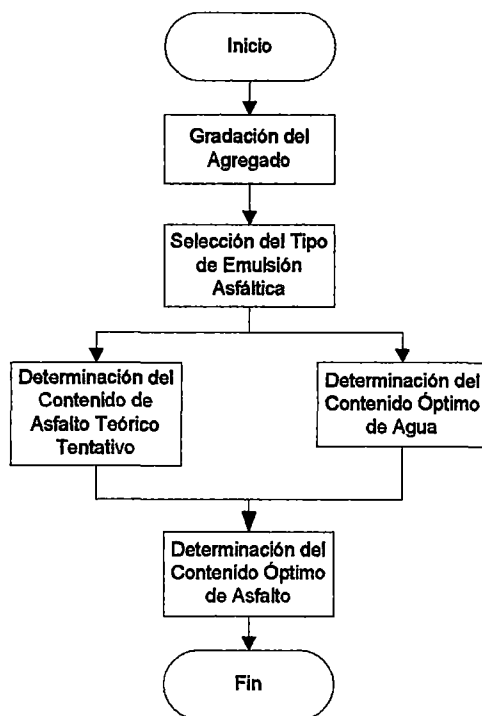
4.2 DISEÑO DE MEZCLA

Al igual que las mezclas asfálticas tradicionales, las emulsionadas requieren un diseño de mezcla, que será elaborada en laboratorio para poder determinar el porcentaje de agregado y emulsión que participará en la mezcla, como también las propiedades de trabajabilidad, estabilidad y resistencia que la mezcla ofrece.

Actualmente existen varios métodos de diseño para mezclas emulsionadas, pero los más empleados son los indicados por el Instituto del Asfalto y el de la Universidad de Illinois. El primero se basa en ábacos y fórmulas empíricas obtenidas de la correlación de los resultados de campo y laboratorio. Mientras que la segunda, realiza un procedimiento similar al del método Marshall, motivo por el cual también es conocido como método Marshall Modificado.

La metodología a emplearse para el diseño de mezcla de la presente investigación se muestra en el esquema siguiente:

Figura 4-1 Metodología de diseño de mezcla emulsionada.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Gradación del Agregado

De acuerdo al manual del Instituto del Asfalto (MS-19), las mezclas emulsionadas pueden ser de gradaciones abiertas y cerradas.

4.2.1.1 Gradación Abierta

Las mezclas con gradaciones abiertas, presentan altos contenidos de vacíos, a través de los cuales drena el agua.

Cuadro 4-1 Husos granulométricos (MS-19) – Gradación abierta.

Tamaño del Tamiz	Material Pasante (%)			
	Base			Capa de Rodamiento
	Gruesa	Media	Fina	
37.5mm. (1 ½")	100	-	-	-
25.0mm. (1")	95 – 100	100	-	-
19.0mm. (¾")	-	90 – 100	-	-
12.5mm. (½")	25 – 60	-	100	-
9.5mm. (3/8")	-	20 – 55	85 – 100	100
4.75mm. (Nº 4)	0 – 10	0 – 10	-	30 – 50

Tamaño del Tamiz	Material Pasante (%)			
	Base			Capa de Rodamiento
	Gruesa	Media	Fina	
2.36mm. (Nº 8)	0-5	0-5	0-10	5-15
1.18mm. (Nº 16)	-	-	0-5	-
75µm. (Nº 200)	0-2	0-2	0-2	0-2

Fuente: Instituto del Asfalto (MS-19).

El Ministerio de Obras Públicas de Costa Rica en sus especificaciones técnicas generales para la conservación de caminos (CRM-2002), ha incluido la partida de reciclado en frío de pavimentos, considerando gradaciones abiertas aquellas mezclas que cumplen con los siguientes husos granulométricos.

Cuadro 4-2 Husos granulométricos (CR-2002) – Gradación abierta.

Tamaño del Tamiz	Material Pasante (%)		
	MAF - 01	MAF - 02	MAF - 03
37.5mm. (1 ½")	-	-	100
25.0mm. (1")	-	100	70-100
19.0mm. (¾")	100	70-100	-
12.5mm. (½")	70-100	-	25-55
9.5mm. (3/8")	-	20-45	-
4.75mm. (Nº 4)	10-30	0-20	0-15
2.36mm. (Nº 8)	0-10	0-10	0-15
75µm. (Nº 200)	0-2	0-2	0-2

Fuente: CR-2002.

4.2.1.2 Gradación Cerrada

Las mezclas con gradaciones cerradas, presentan bajos contenidos de vacíos y están compuestas mayormente por partículas que pasan la malla Nº 4.

Cuadro 4-3 Husos granulométricos (MS-19) – Gradación cerrada.

Tamaño del Tamiz	Material semi-procesado de trituración, de cantera o de río	Material Pasante (%)				
		01	02	03	04	05
50mm. (2")	-	100	-	-	-	-

Tamaño del Tamiz	Material semi-procesado de trituración, de cantera o de río	Material Pasante (%)				
		01	02	03	04	05
37.5mm. (1 ½ ")	100	90 – 100	100	-	-	-
25.0mm. (1")	80 – 90	-	90 – 100	100	-	-
19.0mm. (¾")	-	60 – 80	-	90 – 100	100	-
12.5mm. (1/2")	-	-	60 – 80	-	90 – 100	100
9.5mm. (3/8")	-	-	-	60 – 80	-	90 – 100
4.75mm. (Nº 4)	25 – 85	20 – 55	25 – 60	35 – 65	45 – 70	60 – 80
2.36mm. (Nº 8)	-	10 – 40	15 – 45	20 – 50	25 – 55	35 – 65
300µm. (Nº 50)	-	2 – 16	3 – 18	3 – 20	5 – 20	6 – 25
75µm. (Nº 200)	3 – 15	0 – 5	1 – 7	2 – 8	2 – 9	2 – 10

Fuente: Instituto del Asfalto (MS-19).

Además, el Instituto del Asfalto en su manual "Asphalt Cold Mix Recycling (MS-21)", propone gradaciones granulométricas densas para RAP que se muestran a continuación.

Cuadro 4-4 Husos granulométricos (MS-21) – Gradación cerrada RAP.

Tamaño del Tamiz	Material Pasante (%)			
	D	E	F	G
37.5mm. (1 ½ ")	100	-	-	-
25.0mm. (1")	80 – 100	-	-	-
19.0mm. (¾")	-	-	-	-
12.5mm. (1/2")	-	100	100	100
9.5mm. (3/8")	-	-	-	-
4.75mm. (Nº 4)	25 – 85	75 – 100	75 – 100	75 – 100
2.36mm. (Nº 8)	-	-	-	-
300µm. (Nº 50)	-	-	15 – 30	-
150µm. (Nº 100)	-	-	-	15 – 65
75µm. (Nº 200)	3 – 15	0 – 12	5 – 12	12 – 20

Fuente: Instituto del Asfalto (MS-21).

El Ministerio de Obras Públicas de Costa Rica en sus especificaciones técnicas generales para la conservación de caminos (CRM-2002), ha incluido la partida de reciclado en frío de pavimentos, considerando gradaciones cerradas aquellas mezclas que cumplen con uno de los husos granulométricos siguientes.

Cuadro 4-5 Husos granulométricos (CR-2002) – Gradación cerrada.

Tamaño del Tamiz	Material Pasante (%)		
	MDF - 01	MDF - 02	MDF - 03
37.5mm. (1 ½")	100	-	-
25.0mm. (1")	80 – 95	100	-
19.0mm. (¾")	-	80 – 95	100
12.5mm. (½")	62 – 77	-	80 – 95
9.5mm. (3/8")	-	60 – 75	-
4.75mm. (Nº 4)	45 – 60	47 – 62	50 – 65
2.36mm. (Nº 8)	35 – 50	35 – 50	35 – 50
300µm. (Nº 50)	13 – 23	13 – 23	13 – 23
75µm. (Nº 200)	3 – 8	3 – 8	3 – 8

Fuente: CR-2002.

La universidad de Illinois en sus diseños de mezcla, considera gradaciones cerradas aquellas mezclas que cumplen con uno de los husos granulométricos siguientes.

Cuadro 4-6 Husos granulométricos (Univ. Illinois) – Gradación cerradas.

Tamaño del Tamiz	Material Pasante (%)				
	01	02	03	04	05
50mm. (2")	100	-	-	-	-
37.5mm. (1 ½")	90 – 100	100	-	-	-
25.0mm. (1")	-	90 – 100	100	-	-
19.0mm. (¾")	60 – 80	-	90 – 100	100	-
12.5mm. (½")	-	60 – 80	-	90 – 100	100
9.5mm. (3/8")	-	-	60 – 80	-	90 – 100
4.75mm. (Nº 4)	20 – 55	20 – 60	35 – 65	45 – 70	60 – 80
2.36mm. (Nº 8)	10 – 40	15 – 45	20 – 50	25 – 55	35 – 65

Tamaño del Tamiz	Material Pasante (%)				
	01	02	03	04	05
600µm. (Nº 30)	-	3 – 18	-	-	-
300µm. (Nº 50)	2 – 16	-	3 – 20	5 – 20	6 – 25
75µm. (Nº 200)	0 – 15	1 – 15	2 – 15	2 – 15	2 – 15

Fuente: Universidad de Illinois.

4.2.2 Selección del Tipo de Emulsión Asfáltica

En las mezclas emulsionadas, la selección del tipo de emulsión va a estar en función al tipo de agregado de aporte y del uso que se va dar a la mezcla. El siguiente cuadro indica el tipo de emulsión a emplear en función a su aplicación.

Cuadro 4-7 Tipo de emulsión versus aplicación.

Tipo de Construcción	ASTM D – 977 AASHTO M – 208								ASTM D – 2397 AASHTO M - 140						
	RS-1	RS-2	HRFS-2	MS1, HFMS1	MS-2, HFMS-2	MS-2h, HFMS-2h	HFMS-2s	SS-1	SS-1h	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
Mezclas de Asfalto y Agregados															
Mezcla en planta (en caliente)						X ^A									
Mezcla en planta (en frío)															
Granulometría abierta					X	X					X	X			
Granulometría cerrada							X	X	X					X	X
Arena							X	X	X					X	X
Mezcla in-situ															
Granulometría abierta					X	X					X	X			
Granulometría cerrada							X	X	X					X	X

Tipo de Construcción	ASTM D – 977 AASHTO M – 208									ASTM D – 2397 AASHTO M - 140					
	RS-1	RS-2	HRFS-2	MS1, HFMS1	MS-2, HFMS-2	MS-2h, HFMS-2h	HFMS-2s	SS-1	SS-1h	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
Arena							X	X	X					X	X
Sello arenoso							X	X	X					X	X
Aplicaciones de Asfalto y Agregado															
Tratamientos superficiales (simp. y múlt.)	X	X	X							X	X				
Sellado con arena (sand seal)	X	X	X	X						X	X				
Lechada asfáltica (slurry seal)							X	X	X					X	X
Micro-aglomerado (micro-surfacing)															X ^E
Sellado doble (sándwich seal)		X	X								X				
Cape seal		X									X				
Aplicaciones Asfálticas															
Riego pulverizado (fog seal)				X ^B				X ^C	X ^C					X ^C	X ^C
Imprimación (prime coat)					X ^D			X ^D	X ^D					X ^D	X ^D
Riego de liga (tack coat)				X ^B				X ^C	X ^C					X ^C	X ^C
Paliativo de polvo (dust palliative)								X ^C	X ^C					X ^C	X ^C
Protección con asfalto (mulch)								X ^C	X ^C					X ^C	X ^C

Tipo de Construcción	ASTM D – 977 AASHTO M – 208								ASTM D – 2397 AASHTO M - 140						
	RS-1	RS-2	HRFS-2	MS1, HFMS1	MS-2, HFMS-2	MS-2h, HFMS-2h	HFMS-2s	SS-1	SS-1h	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
treatment)															
Sellado de fisuras (crack filler)								X	X					X	X
Mezclas de Mantenimiento															
Uso intermedio							X					X	X		
Acopio							X								
<p>A. Pueden emplearse otros grados que el HFMS-2h cuando la experiencia demuestre que han tenido un comportamiento satisfactorio.</p> <p>B. Diluido en agua por el fabricante.</p> <p>C. Diluido con agua.</p> <p>D. Mezclado solo para imprimación.</p> <p>E. El polímero debe incorporarse durante o previamente a la emulsificación.</p>															

Fuente: Instituto del Asfalto (MS-19).

4.2.3 Determinación del Contenido de Asfalto Teórico Tentativo

Existen ecuaciones empíricas que relacionan la cantidad de asfalto necesaria en la mezcla, con los porcentajes de material retenido en las mallas. El Instituto del Asfalto, en su serie de manuales (MS-21), correlaciona las mallas N° 8 y N° 200 con la cantidad de asfalto, siendo la ecuación la que se muestra a continuación.

$$P_2 = \frac{0.035 \approx a + 0.045 \approx b + K \approx c + F}{R}$$

Donde:

Pc : Porcentaje (expresado como número entero) de material de asfalto obtenido mediante el peso total de la mezcla.

K : constante para hallar contenido asfáltico:

0.15, si el porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200 está entre 11 y 15.

0.18, si el porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200 está entre 6 y 10.

0.20, si el porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200 está entre 0 y 5.

a : Porcentaje (expresado como número entero) de agregado combinado retenido en el tamiz N° 8.

b : Porcentaje (expresado como número entero) de agregado combinado que pasa el tamiz N° 8 y es retenido por el tamiz N° 200.

c : Porcentaje (expresado como número entero) de agregado combinado que pasa el tamiz N° 200.

F : De 0 – 2.0 por ciento. Basado en la absorción durante el día de agregado grueso. La fórmula está basada en una gravedad específica promedio de 2.6 – 2.7. En ausencia de información valores que varían de 0.7 – 1.0 cubriría con la mayoría de las condiciones.

R : Es 1.0 para el cemento asfáltico, 0.60 – 0.65 para emulsiones asfálticas (residuo asfáltico en una emulsión).

Debido a que los agregados son material RAP, solo tendrá que adicionarse un porcentaje del cemento asfáltico total (Pc), y puede calcularse empleando la siguiente ecuación.

$$P_r = P_c - \frac{(P_a + P_p)}{R}$$

Donde:

Pr : Porcentaje (expresado como número entero) de asfalto nuevo en la mezcla reciclada.

Pc : Porcentaje (expresado como número entero) de asfalto por peso de la mezcla total.

Pa : Porcentaje (expresado como número entero) de asfalto en el pavimento asfáltico reutilizable.

Pp : Porcentaje (expresado como número decimal) de pavimento asfáltico reciclado en la nueva mezcla.

R : Es 1.0 para el cemento asfáltico en el pavimento reutilizable.

La Universidad de Illinois para obtener el contenido de asfalto teórico tentativo correlaciona las mallas N° 4 y N° 200 con la cantidad de asfalto mediante la siguiente ecuación.

$$R = 0.00138 * A * B + 6.358 * \log_{10} C - 4.655$$

Donde:

R : Contenido de asfalto residual tentativo expresado como porcentaje en peso de agregado seco.

A : Porcentaje retenido de agregado en el tamiz N° 4.

B : Porcentaje pasante de agregado en el tamiz N° 4 y que es retenido por el tamiz N° 200.

C : Porcentaje pasante de agregado en el tamiz N° 200.

Una vez determinado el contenido de asfalto teórico tentativo, se procede con la realización del ensayo de recubrimiento, el cual consiste en la elaboración de mezclas emulsionadas con diferentes cantidades de emulsión y agua, las que posteriormente se dejarán curar por el período de un día, transcurrido el tiempo se determinará visualmente el porcentaje de recubrimiento obtenido en cada una de ellas. Es importante realizar este ensayo, debido a que la capacidad de la emulsión para recubrir el agregado disminuye cuando se adiciona agua, esto generalmente ocurre para agregados que contienen un alto porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200, debido a que la escasa cantidad de agua de pre mezcla origina aglutinamientos del asfalto con los finos y por tanto un recubrimiento insuficiente. Las emulsiones que no cumplan con el ensayo de recubrimiento deberán ser descartadas.

4.2.4 Determinación del Contenido Óptimo de Agua

Con el contenido de asfalto teórico tentativo y el contenido de agua obtenido en el ensayo de recubrimiento, se preparan mezclas variando los contenidos de agua y manteniendo constante la proporción de emulsión y agregado combinado. La preparación de las briquetas se realizará empleando los mismos procedimientos establecidos en el ensayo de resistencia a la compresión por el Método Marshall, con la diferencia que la preparación de las mezclas se realizará a temperatura ambiente y las briquetas se dejarán curar por el período de un día y posteriormente se determinará sus densidades y estabilidades respectivas. Luego se graficará la dispersión de puntos estabilidad versus contenido de agua y se obtendrá su curva de tendencia, la abscisa que permita obtener el mayor valor en las ordenadas de la curva será el óptimo contenido de agua.

4.2.5 Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto

Una vez determinado el contenido óptimo de agua de compactación, se hará variar los contenidos de emulsión en $\pm 1.0\%$ con respecto al contenido de asfalto obtenido en el ensayo de recubrimiento, manteniendo constante la proporción de agua y agregado combinado. La preparación de la mezcla será la misma a las realizadas anteriormente con el adicional de tiempo de aireación para la pérdida de humedad, de manera que logre el contenido óptimo de agua de compactación. Una vez preparadas las briquetas, estas experimentarán dos estados seco y húmedo, con el objetivo de simular las condiciones atmosféricas a la que estarán expuestas cuando sean aplicadas.

- **Estado Seco:** La briqueta curará dentro del molde por un período de 72 horas, a temperatura ambiente.
- **Estado Húmedo:** La briqueta curará dentro del molde, cubierto dentro de una bolsa de plástico agujereada, para ser sumergida en un recipiente con agua de 1 pulgada de profundidad durante el período de 96 horas, invirtiendo las caras de las briquetas a las primeras 48 horas.

Luego de transcurrido el tiempo de secado y humectación, las briquetas serán ensayadas en laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, tales como: humedad, densidad, estabilidad y flujo.

5.0 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

5.1 EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las especificaciones técnicas empleadas para el control de calidad de materiales del proyecto de investigación son:

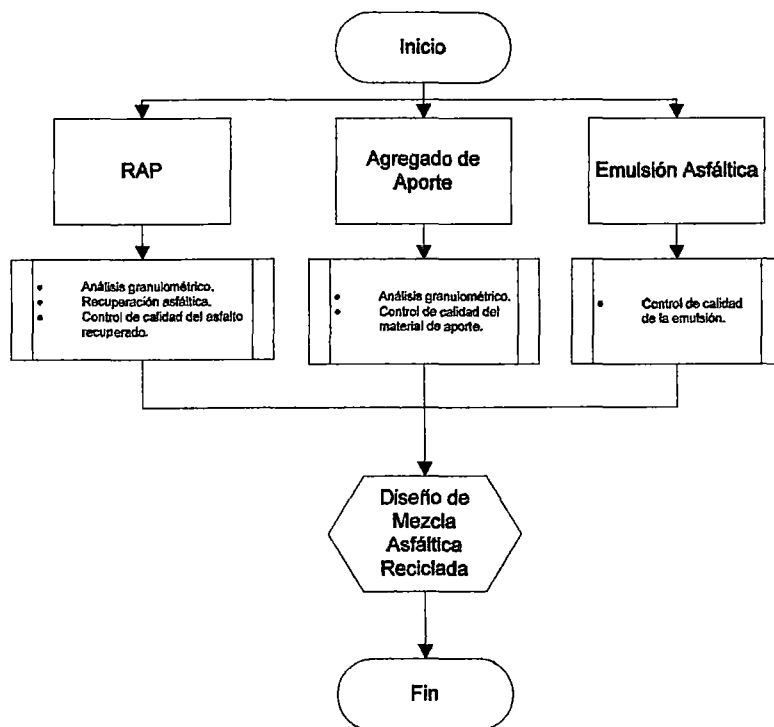
- Especificaciones Técnicas Generales para Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (EG – 2000 / MTC).
- Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica del Consejo Nacional de Vialidad (CRM – 2002 / CONAVI).

Las normatividades que rigen los ensayos de laboratorio son:

- American Society for Testing and Materials (ASTM).
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- Norma Técnica Peruana (NTP).
- Manual de Ensayos de Materiales para Obras Viales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (EM – 2000 / MTC).

La metodología empleada en el proceso de control de calidad de materiales, se muestra a continuación.

Figura 5-1 Metodología de control de calidad de materiales.



Fuente: Elaboración propia.

El material de RAP obtenido en el proceso de fresado de la carpeta asfáltica existente estará conformado por agregado y cemento asfáltico envejecido, al cual será necesario realizar ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas actuales.

Cuadro 5-1 Ensayos de control de calidad - RAP.

Ensayo	Norma Técnica	Descripción
Análisis Granulométrico.	NTP 400.012 (01) NTP 400.018 (02)	Permite determinar los tamaños de las partículas de agregados grueso y fino de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada.
Methods for Quantitative Extraction of Bituminous Paving Mixtures.	ASTM D – 2172 (95) ASTM D – 1856 (95)	Permite la recuperación del cemento asfáltico mediante el Método Abson. El asfalto es recuperado con propiedades similares a las que poseía en la mezcla bituminosa y proporciona cantidades suficientes para su posterior control de calidad.
Penetración, 25°C, 100gr, 5s, 0.1mm.	ASTM D – 5/97	Permite determinar la consistencia de los materiales asfálticos sólidos o semisólidos, siendo el componente principal el cemento asfáltico.
Ductilidad, 25°C, 5cm/min.	ASTM D – 113/99	Permite determinar la ductilidad de los materiales asfálticos de consistencia sólida o semisólida.
Peso Específico, 15.6/15.6°C.	ASTM D – 70/97	Permite determinar la relación entre el peso de un volumen dado de material asfáltico y el peso de un volumen igual de agua, medidos a la misma temperatura.
Punto de Ablandamiento.	ASTM D – 36/95	Permite determinar la tendencia del material a fluir cuando está sometida a temperaturas elevadas durante su vida de servicio.
Solubilidad en Tricloroetileno.	ASTM D – 2042/97	Permite determinar la solubilidad del cemento asfáltico en tricloroetileno y la parte soluble representará los constituyentes cementantes activos.
Índice de Penetración.	Referencia Francesa	Permite determinar la susceptibilidad térmica del cemento asfáltico.

Ensayo	Norma Técnica	Descripción
Viscosidad Cinemática.	ASTM D – 2170/95	Permite determinar la viscosidad cinemática del cemento asfáltico, mediante la fluencia de este por capilaridad y a una temperatura adecuada.
Viscosidad Absoluta, 60°C, 300mm Hg.	ASTM D – 2171/94	Permite determinar la viscosidad absoluta del cemento asfáltico, mediante la fluencia de este bajo condiciones de vacío y temperatura adecuadas.
Ensayo de la Mancha. (Solvente de nafta estándar)	AAHSTO T – 102	Permite determinar de manera cualitativa y cuantitativa el grado de alteración química que ha sufrido el cemento asfáltico en el transcurso del proceso de elaboración.

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros que permiten verificar la calidad del cemento asfáltico se muestran a continuación.

Cuadro 5-2 Parámetros de control de calidad – Cemento asfáltico (PEN).

Característica	Grado de Penetración							
	40 - 50		60 - 70		85 - 100		120 - 150	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Penetración, 25°C, 100gr, 5s, 0.1mm.	40	50	60	70	85	100	120	150
Ductilidad, 25°C, 5cm/min. (cm)	100	—	100	—	100	—	100	—
Solubilidad en Tricloroetileno. (%)	99	—	99	—	99	—	99	—
Índice de Penetración.	-1.0	+1.0	-1.0	+1.0	-1.0	+1.0	-1.0	+1.0
Punto de Ablandamiento	45	55	45	55	43	53	35	45
Ensayo de la Mancha (opcional).	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	

Fuente: EG – 2000.

Cuadro 5-3 Parámetros de control de calidad – Cemento Asfáltico (Viscosidad).

Característica	Grado de Viscosidad			
	AC - 5	AC - 10	AC - 20	AC - 40
Viscosidad Absoluta, 60°C, Pa.s (Poises)	50 ± 5 (500 ± 100)	100 ± 20 (1000 ± 200)	200 ± 40 (2000 ± 400)	400 ± 80 (4000 ± 800)
Viscosidad Cinemática. (cSt)	100	150	210	300

Característica	Grado de Viscosidad			
	AC - 5	AC - 10	AC - 20	AC - 40
Penetración, 25°C, 100gr, 5s, 0.1mm.	120	70	40	20
Ductilidad, 25°C, 5cm/min. (cm)	100	50	20	10

Fuente: EG – 2000.

En el proyecto de investigación las emulsiones asfálticas actuarán como material ligante de la mezcla asfáltica reciclada, por lo que será necesario realizar ensayos de laboratorio tanto a la emulsión como al residuo asfáltico obtenido de su destilación.

Cuadro 5-4 Ensayos de control de calidad – Emulsiones asfálticas.

Ensayo	Norma Técnica	Descripción
Viscosidad Saybolt Furol, 25°C.	ASTM D – 244/00	Permite determinar la viscosidad o consistencia de la emulsiones asfáltica por medio del viscosímetro Saybolt Furol.
Estabilidad al Almacenamiento, 24 horas.	ASTM D – 244/00	Permite determinar la estabilidad de la emulsión durante el almacenamiento por medio de la medición de la tendencia de los glóbulos del asfalto a sedimentar durante un periodo de tiempo igual a un día (24 horas).
Sedimentación, 05 días.	ASTM D – 244/00	Permite determinar la estabilidad de la emulsión durante el almacenamiento por medio de la medición de la tendencia de los glóbulos del asfalto a sedimentar durante un periodo de tiempo igual a cinco días.
Sieve Test (Tamiz No 20).	ASTM D – 244/00	Permite determinar la calidad y estabilidad de la emulsión por medio de la medición de la cantidad de partículas retenidas en el tamiz.
Cubrimiento de Agregados.	ASTM D – 244/00	Permite determinar la capacidad de la emulsión asfáltica para recubrir el agregado completamente, resistir el efecto de mezclado mientras permanece con una película sobre el agregado y resistir la acción de lavado

Ensayo	Norma Técnica	Descripción
		del agua una vez finalizada la mezcla. No se realiza para emulsiones asfálticas de rotura rápida.
Carga de Partículas.	ASTM D – 244/00	Permite determinar la carga eléctrica de la emulsión. Pudiendo ser aniónicas, catiónicas o no iónicas.
Contenido de Agua.	ASTM D – 244/00	Permite determinar la cantidad de agua contenida en la emulsión, mediante la destilación a reflujo.
Residuo por Evaporación.	ASTM D – 244/00	Permite determinar el cantidad de cemento asfáltico contenido en la emulsión. En este tipo de ensayo cabe la posibilidad de envejecimiento del residuo asfáltico.
Residuo por Destilación.	ASTM D – 244/00	Permite separar el agua del cemento asfáltico. Para posteriormente al último de ellos realizar ensayos de control de calidad.
Penetración, 25°C, 100gr, 5s, 0.1mm.	ASTM D – 5/97	Permite determinar la consistencia del residuo asfáltico contenido en la emulsión.
Ductilidad, 25°C, 5cm/min.	ASTM D – 113/99	Permite determinar la ductilidad del residuo asfáltico contenido en la emulsión.
Recuperación elástica, 25°C, 5cm/min.	ASTM D – 113/99	Está basado en el ensayo de ductilidad y permite determinar la capacidad de recuperación luego de experimentar una deformación del residuo asfáltico contenido en la emulsión asfáltica modificada.
Solubilidad en Tricloroetileno.	ASTM D – 2042/97	Permite determinar la solubilidad del residuo asfáltico contenido en la emulsión.

Fuente: Elaboración propia.

Además, los parámetros que permitirán realizar un control de calidad a las emulsiones asfálticas, se muestran a continuación.

Cuadro 5-5 Parámetros de control de calidad – Emulsión asfáltica catiónica.

Característica	Rotura					
	Rápida		Media		Lenta	
	CRS - 1	CRS - 2	CMS - 2	CMS - 2h	CSS - 1	CSS - 1h
Viscosidad Saybolt Furol, 25°C. (s)	20 - 100	—	—	—	20 - 100	20 - 100
Estabilidad al Almacenamiento, 24 horas (%)	1 máx.	1 máx.	1 máx.	1 máx.	1 máx.	1 máx.
Sedimentación, 05 días. (%)	1 máx.	1 máx.	1 máx.	1 máx.	1 máx.	1 máx.
Residuo por Destilación. (%)	60 mín.	65 mín.	65 mín.	65 mín.	57 mín.	57 mín.
Sieve Test (Tamiz No 20).	0.1 máx.	0.1 máx.	0.1 máx.	0.1 máx.	0.1 máx.	0.1 máx.
Cubrimiento de Agregados.	Satisfactoria.		Satisfactoria.		Satisfactoria.	
Carga de Partículas.	Positiva		Positiva		Positiva	
Penetración, 25°C, 100gr, 5s, 0.1mm.	100 - 250	100 - 250	100 - 250	40 - 90	100 - 250	40 - 90
Ductilidad, 25°C, 5cm/min. (cm)	40 mín.	40 mín.	40 mín.	40 mín.	40 mín.	40 mín.
Recuperación elástica, 25°C, 5cm/min. (*)	50 mín.	50 mín.	50 mín.	50 mín.	50 mín.	50 mín.
Solubilidad en Tricloroetileno. (%)	97.5 mín.	97.5 mín.	97.5 mín.	97.5 mín.	97.5 mín.	97.5 mín.
(*) Aplicable solo a emulsiones modificadas con polímeros.						

Fuente: EG - 2000 y elaboración propia.

5.2 AGREGADOS

El agregado es procedente de la cantera Cut – Off y está compuesto por agregados gruesos (grava de $\frac{3}{4}''$ – $3/8''$ y grava de $3/8''$ – No 4), y por agregado fino (material que pasa la malla N° 4), a los cuales se les realizaron los ensayos de laboratorio siguientes.

Cuadro 5-6 Ensayos de control de calidad – Agregados.

Ensayo	Norma Técnica	Descripción
Análisis Granulométrico.	NTP 400.012 (01) NTP 400.018 (02)	Permite determinar los tamaños de las partículas de agregados grueso y fino de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada.
Contenido de Humedad.	NTP 339.127 (98)	Permite determinar la cantidad de agua contenida en las moléculas de suelo y/o agregado.
Límites de Consistencia.	NTP 339.129 (99)	Permite determinar el límite líquido, plástico, índice plástico de un suelo o agregado fino.
Equivalente de Arena.	NTP 339.146 (00)	Permite determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo o material arcilloso en los suelos o agregados finos.
Impurezas Orgánicas	NTP 400.024 (99)	Permite determinar de forma cualitativa la presencia de materia orgánica dentro de un suelo o agregado fino.
Abrasión.	NTP 400.019 (02)	Permite determinar la resistencia al desgaste de agregados triturados o en estado natural.
Durabilidad.	NTP 400.016 (99)	Permite determinar la resistencia a la desintegración de los agregados por la acción de los agentes atmosféricos.
Peso Unitario.	NTP 400.017 (99)	Permite determinar el peso unitario suelto y compactado de los agregados.
Peso Específico y Absorción.	NTP 400.021 (02)	Permite determinar el peso específico aparente y real de los agregados, así

Ensayo	Norma Técnica	Descripción
		como su respectiva absorción.
Partículas Chatas y Alargadas.	NTP 400.040 (99)	Permite determinar el aplanamiento y alargamiento de los agregados.
Caras de Fractura.	MTC E-210 (00)	Permite determinar el porcentaje en peso del material que presenta una o más caras de fractura del agregado.
Sales Solubles.	MTC E – 219 (00)	Permite determinar el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua de los agregados pétreos.
Adhesividad de los Ligantes Bituminosos a los Áridos Finos (Procedimiento Riedel Weber).	MTC E – 220 (00)	Permite determinar la adhesividad de los materiales bituminosos con los agregados triturados finos.
Coating and Stripping of Bitumen – Aggregate Mixture.	AASHTO T – 182	Permite determinar la adhesividad de los materiales bituminosos con los agregados gruesos.

Fuente: Elaboración Propia.

Además los parámetros que permitirán realizar un control de calidad a los agregados, se muestran a continuación.

Cuadro 5-7 Parámetros de control de calidad – Agregados (Altitud).

Característica	Altitud (m.s.n.m.)	
	Menor a 3000	Mayor a 3000
Durabilidad (al sulfato de sodio) (%)	12 máx.	10 máx.
Durabilidad (al sulfato de magnesio) (%)	18 máx.	15 máx.
Abrasión (%)	40 máx.	35 máx.
Partículas Chatas y Alargadas (%)	10 máx.	10 máx.
Sales Solubles Totales (%)	0.5 máx.	0.5 máx.
Absorción (Agregado Grueso) (%)	1.00	Según Diseño.
Absorción (Agregado Fino) (%)	0.50	Según Diseño.
Adherencia.	+95	+95
Adhesividad (Riedel Weber) (%)	4 mín.	6 mín.
Índice de Plasticidad (Malla No 40) (%)	N.P	N.P
Índice de Plasticidad (Malla No 200) (%)	4 máx.	N.P

Fuente: EG - 2000.

Cuadro 5-8 Parámetros de control de calidad – Agregados (Tráfico).

Característica	Tráfico en Ejes Equivalente (Millones)					
	Menor a 3		Entre 3 y 30		Mayor a 30	
	Espesor de Carpeta Asfáltica					
	< 100	> 100	< 100	> 100	< 100	> 100
Equivalente de Arena (%).	45		50		55	
Caras Fracturadas (%).	65/40	50/30	85/50	60/40	100/80	90/70

Fuente: EG - 2000.

5.3 MEZCLAS ASFÁLTICAS

Una vez verificada la calidad de los materiales que participaron en la mezcla, se procedió con la elaboración de la mezcla emulsionada reciclada, y luego se evaluó su calidad mediante los ensayos siguientes.

Cuadro 5-9 Ensayo de control de calidad – Mezclas emulsionadas.

Ensayo	Norma Técnica	Descripción
Estabilidad (lb.)	ASTM D – 1559	Permite determinar resistencia a la compresión diametral de la mezcla asfáltica, mediante el aparato Marshall.
Fluencia Marshall (0.01 pulg.)	ASTM D – 1559	Permite determinar la deformación de la mezcla asfáltica por efectos de los esfuerzos de compresión diametral y es medido mediante un dial de deformación vertical.
Porcentaje de Vacíos (%).	ASTM D – 3203	Permite determinar la cantidad de bolsas de aire que se encuentra presente entre las partículas de agregado cubiertas con asfalto, luego de ser compactada la mezcla.
Pérdida de Estabilidad (%).	ASTM D – 1075	Permite determinar la pérdida de la cohesión de la mezcla asfáltica por la acción del agua.
Humedad Absorbida (%).	ASTM D – 1188	Permite determinar del peso específico aparente y a su vez la cantidad de agua que la mezcla asfáltica puede absorber.

Fuente: Elaboración Propia.

Además los parámetros que permitirán realizar un control de calidad a la mezcla emulsionada reciclada, se muestran a continuación.

Cuadro 5-10 Parámetros de control de calidad – Mezclas emulsionadas.

Parámetro	Mínimo	Máximo
Estabilidad (lb.)	500.0	—
Fluencia (0.01 pulg.)	8.0	14.0
Vacios Totales (%)	2.0	8.0
Pérdida de Estabilidad (%)	—	50.0
Humedad Absorbida (%)	—	4.0
Recubrimiento de Agregado Combinado (%)	50.0	—

Fuente: Universidad de Illinois y (MS – 22).

6.0 RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

El deterioro de un pavimento se debe a diferentes causas. Las experiencias indican que el deterioro sigue un patrón predecible para un tráfico y condiciones ambientales determinadas. La curva de deterioro del pavimento depende de otros factores como:

- Tipo y espesor del pavimento.
- Propiedades de los materiales empleados en la estructura del pavimento.
- Niveles de tráfico.
- Nivel de las actividades de mantenimiento, etc.

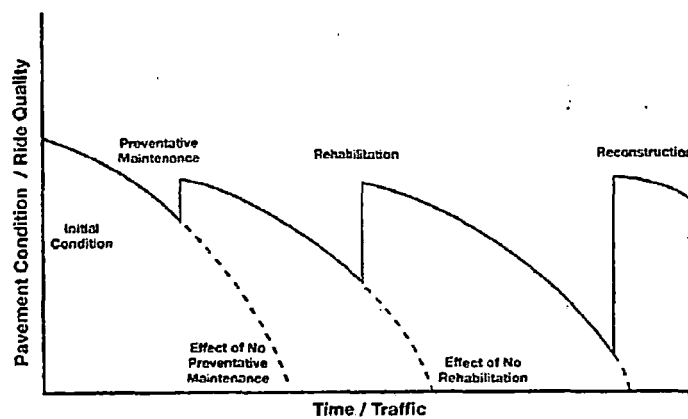
Se define como serviciabilidad del pavimento, como la capacidad de brindar comodidad al usuario y está directamente relacionada con la rugosidad de la superficie del pavimento; ésta cambia con el paso del tiempo y está directamente relacionada:

- La calidad de la construcción original.
- Tipo y espesor de las capas.
- Rigidez de las distintas capas.
- Tipo de suelo de fundación y su respectivo contenido de humedad.
- Factores ambientales.
- Efectividad y tipos de mantenimiento.
- Carga y composición del tráfico.

La cuantificación de la serviciabilidad del pavimento se realiza mediante el Riding Comfort Index (RCI), Present Serviceability Index (PSI) o parámetros similares. Con el tiempo las carreteras reducen sus valores de RCI o PSI debido al tráfico y los factores ambientales.

La tasa de deterioro del pavimento se acelera con el aumento de su edad y tráfico, aumentando el costo de rehabilitación. Cuando el mantenimiento preventivo o rehabilitación no se realiza en el momento apropiado, la calzada se deteriorará rápidamente a tal punto que requiera una reconstrucción. Las actividades de mantenimiento preventivo y rehabilitación conservan las carreteras, y ese efecto puede observarse en la figura siguiente.

Figura 6-1 Variación de la condición y serviciabilidad del pavimento.



Fuente: ARRA.

a) **Mantenimiento del pavimento:** El mantenimiento de pavimentos se divide en: preventivo y correctivo, según la aplicación propuesta, que en general corresponde a:

- Impedir la infiltración de la humedad en la estructura del pavimento.
- Corregir o evitar el deterioro del pavimento debido a los factores ambientales.

El mantenimiento preventivo, tiene por objetivo el mantener o ampliar la vida útil del pavimento hasta que la rehabilitación o reconstrucción sea necesaria. A fin de maximizar su relación costo-eficacia, estas actividades deberán ser realizadas antes que el pavimento muestre importantes signos de deterioro. El mantenimiento preventivo mantiene la durabilidad y flexibilidad del pavimento, pero no mejora su capacidad y resistencia estructural, incluye actividades como:

- Hot In-place Recycling (HIR).
- HIR con un posterior tratamiento de superficie o Hot Mix Asphalt (HMA), aplicadas mediante superposición de capas delgadas.
- Cold in-place Recycling (CIR) con un posterior tratamiento de superficie o HMA aplicadas mediante superposición de capas delgadas.
- Sellado o recubrimiento asfáltico (Fog Seal).
- Slurry seal.
- Micro – surfacing.
- Chip seal.
- Cape seal.
- Capas ultra delgadas de HMA superpuestas como Open Graded Friction Course (OGFC) o Stone Matrix Asphalt (SMA).

La eficacia de las actividades de mantenimiento preventivo dependerá mucho de las técnicas, materiales utilizados y la calidad de la mano de obra. La vida de servicio puede variar de 1 a 2 años para Fog Seal y más de 10 años para capas delgadas superpuestas de HMA.

El mantenimiento correctivo, está dirigido a solucionar los problemas existentes en el pavimento e incluye actividades tales como:

- Sellado de grietas.
- Reparación de baches.
- Parchado superficial para las zonas con problemas a nivel local o para corregir las imperfecciones de superficie tales como levantamientos y hundimientos.
- Llenado de huecos y baches.
- Mejora del drenaje incluidos los de limpieza de alcantarilla y desagüe, etc.

El mantenimiento correctivo dependerá de los mismos factores del preventivo. La expectativa de vida de servicio para un mantenimiento correctivo resulta ser de 1 a 5 años.

b) Rehabilitación del pavimento: Cuando las actividades de mantenimiento no son rentables, se empleará técnicas de rehabilitación. Las técnicas de rehabilitación resultan ser más caras que las actividades de mantenimiento. La rehabilitación de pavimentos se realiza cuando existe:

- Valores de rugosidad elevada.
- Grietas y deformación en el pavimento.
- Valores de fricción bajos.
- Defectos y deterioro en la superficie.
- Problemas estructurales.
- Elevados costos de mantenimiento.

Las técnicas de rehabilitación son variadas y pueden realizarse de manera individual o en combinación de estas, siendo aquellas como:

- HIR.
- HIR con tratamiento posterior de superficie o HMA aplicadas mediante superposición de capas delgadas.
- CIR con tratamiento posterior de superficie o HMA aplicadas mediante superposición de capas delgadas.
- Full Depth Reclamation (FDR) con posterior tratamiento superficial o capas delgadas de HMA.

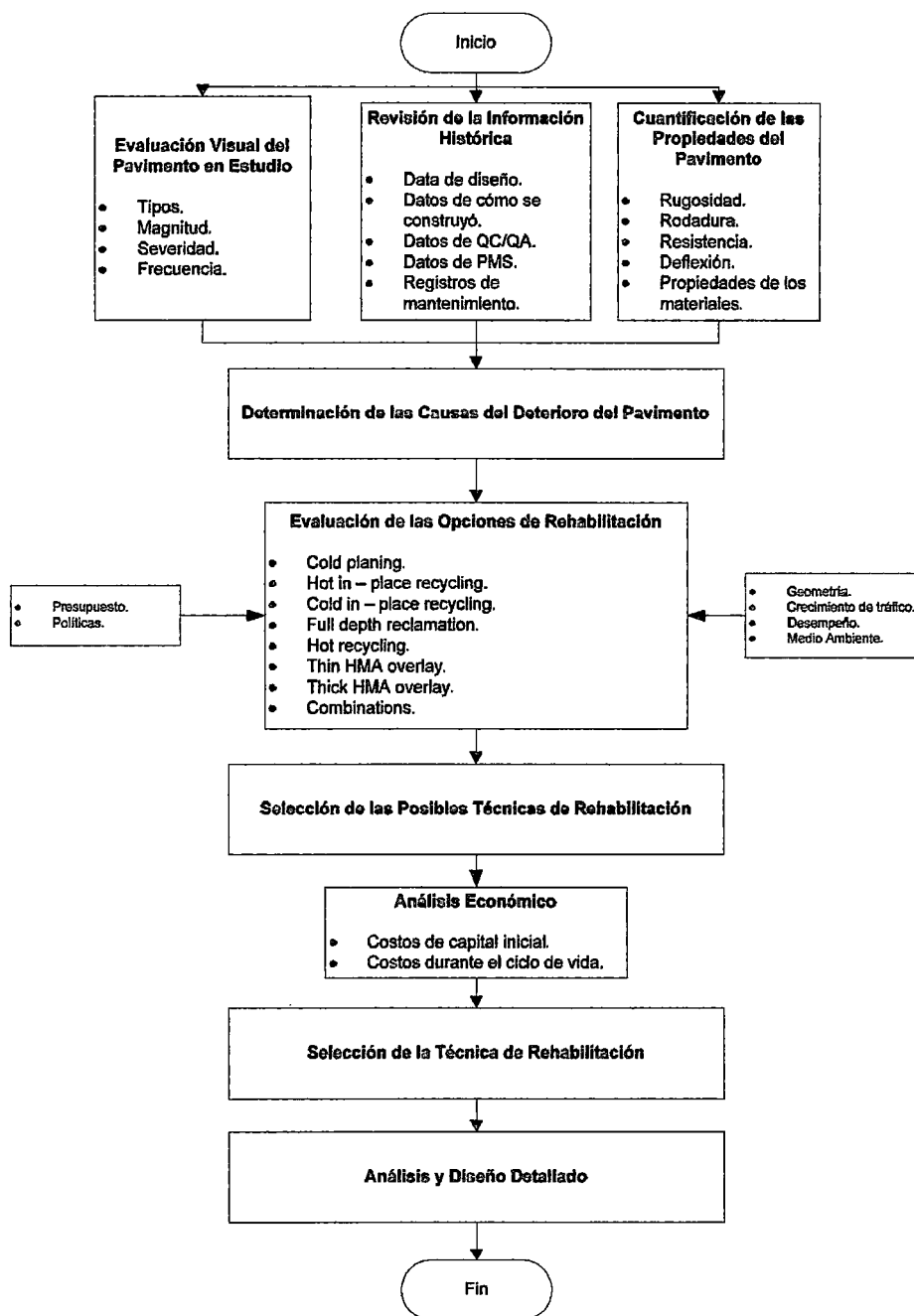
- Gruesas o delgadas capas de HMA.
- Cold Planing (CP) y capas delgadas de HMA.
- CP seguido por cualquiera de estas: HIR, CIR, FDR o Cold Central Plant Recycling (CCPR) y a continuación una superposición de capas delgadas de HMA.

La etapa más importante de una rehabilitación, es la adecuada selección de la alternativa de solución, para ello se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Evaluar el tipo, cantidad y gravedad del problema del pavimento en estudio.
- Recopilar y revisar la información histórica existente sobre la construcción original y sus posteriores actividades de mantenimiento.
- Evaluar el espesor y resistencia estructural del pavimento existente.
- Determinación de las propiedades físicas de los materiales que componen el pavimento existente.
- Determinar las causas del problema.
- Evaluar el trazo geométrico.
- Seleccionar un número de posibles técnicas de rehabilitación basada en la información recogida con anterioridad.
- Posteriormente realizar un análisis de costos de las técnicas seleccionadas, incluyendo los costos iniciales así como los costos que se realizarán durante el ciclo de vida del pavimento.
- En función a esto escoger la técnica más rentable.

Cada una de las técnicas de rehabilitación con pavimento reciclado ofrece ventajas específicas sobre los métodos convencionales. La selección de un método de rehabilitación debe hacerse sobre la base de una evaluación detallada del proyecto ya que no todos los métodos de reciclado de pavimentos son adecuados para el tratamiento, por lo que se recomienda emplear la metodología siguiente.

Figura 6-2 Metodología de evaluación de técnicas de rehabilitación.



Fuente: ARRA.

La eficacia y rendimiento de estas técnicas dependerá de factores tales como:

- Condiciones locales.
- Clima.
- Tráfico.
- Tipo de técnica y calidad de los materiales utilizados.

- Calidad de la mano de obra.

c) **Reconstrucción del pavimento:** La reconstrucción es el extremo de la técnica de rehabilitación y se emplea cuando la carretera requiere de manera obligatoria ampliación, modificación de su geometría y alineamiento. También puede ser requerida, cuando el mantenimiento o rehabilitación no ha sido eficaz y el pavimento se ha deteriorado a tal nivel que aprovechar la estructura existente no sería rentable.

La reconstrucción consiste en la remoción total de la estructura del pavimento, modificación o mejora de la sub-rasante del suelo, compactación de la sub-rasante y la colocación de un pavimento con estructura nueva y/o materiales reciclados. La carpeta asfáltica y materiales de la base granular, pueden ser recuperados, regenerados y reutilizados en el proceso de reconstrucción. El uso de técnicas como CP, CCPR, Hot recycling y/o FDR, ayudan a reducir los costos de reconstrucción de carreteras.

La eficacia de la reconstrucción depende del tipo de estructura construida, el clima, el tráfico, tipo y calidad de los materiales utilizados, y la calidad de la mano de obra. Carreteras reconstruidas ofrecen expectativas de vida de servicio similares al diseñado y construido para carreteras nuevas de 20 años de vida útil.

6.1 TIPOS DE RECICLAJE

La Asociación de Recuperación y Reciclado del Asfalto (ARRA), considera cinco técnicas de reciclado de pavimentos asfálticos:

- Cold Planing (CP).
- Hot Recycling.
- Hot in-place Recycling (HIR).
- Cold Recycling (CR).
- Full Depth Reclamation (FDR).

Dentro de estas cinco existe una serie de sub-categorías que definen de forma más detallada el reciclado de pavimentos:

- HIR
 - Surface recycling (Resurfacing).
 - Remixing.
 - Repaving.
- CR
 - Cold In – place recycling (CIR).

- Cold Central Plant Recycling (CCPR).
- FDR
 - Pulverization.
 - Mechanical stabilization.
 - Bituminous stabilization.
 - Chemical stabilization.

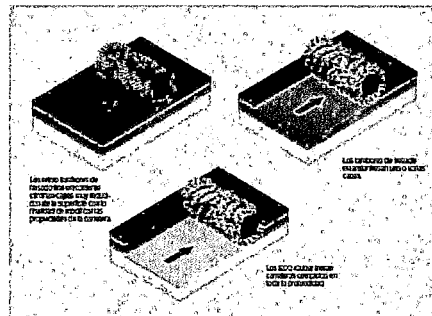
6.1.1 Fresado en Frío

Conocido también como Cold Planing (CP), consiste en la remoción del pavimento, a una profundidad acorde con el perfil longitudinal y la sección transversal.

La superficie expuesta puede ser utilizada inmediatamente como superficie de rodadura o también una vez limpia la superficie ser recubierta por capas delgadas superpuestas de HMA. El CP se utiliza para recuperar la aspereza de la superficie del pavimento, modificando la fricción de la superficie.

El cold planer o fresadora, tiene un tambor rotativo, equipado con dientes reemplazables de carburo de tungsteno, diseñados para remover o moler el pavimento existente hasta el perfil y sección transversal proyectada, como puede observarse en la figura siguiente.

Figura 6-3 Fresado del pavimento.

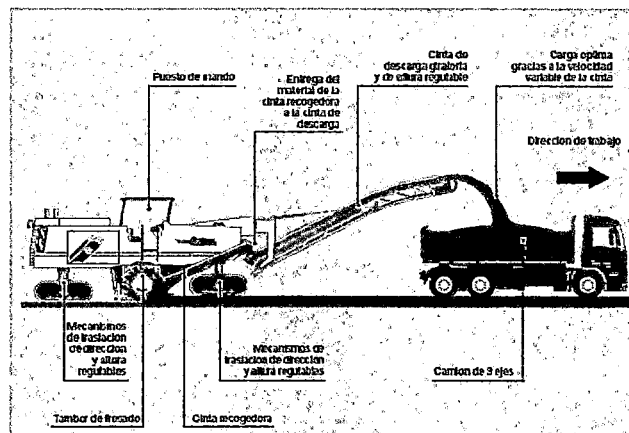


Fuente: WIRTGEN.

El RAP generado durante la operación de CP, puede ser removido del sitio, el RAP se aprovecha de mejor forma si es utilizado en el CCPR, ser reutilizado como agregado de aporte para la construcción y ampliación de carreteras, en zanja, revestimientos, reparaciones de pavimento o una superficie libre de polvo en las carreteras de afirmado.

La reutilización del RAP, como agregado de aporte o material similar, es una forma de aplicar las tres "R" del reciclado (reducir, reciclar y reutilizar), pero el mayor valor agregado se obtiene cuando se emplea en CCPR o mezcla reciclada, tal como se muestra en la figura.

Figura 6-4 Recopilación del material RAP.



Fuente: WIRTGEN.

Entre las ventajas más relevantes de emplear CP, se consideran:

- Eliminación de las ondulaciones, superficies lisas, superficies de pavimento deteriorado y/o asfalto oxidado.
- Corrección del perfil longitudinal y sección transversal.
- Eliminación de los selladores de fisuras antes de la aplicación de capas delgadas superpuestas de HMA.
- Eliminación del pavimento construido por etapas para restaurar la altura inicial.
- Preparación de la superficie antes de la aplicación de alguna técnica adicional de reciclado de pavimentos.
- Conservación de la energía en comparación con otros métodos de reconstrucción.
- Incremento en la eficiencia de los proyectos y reutilización de los materiales existentes.
- Mayor productividad con menos interrupciones al usuario.

6.1.2 Reciclado en Caliente

Es el proceso que combina el RAP con agregados y ligante asfáltico en una planta central para producir una mezcla de reciclada. Para reciclar en caliente se utiliza la transferencia de calor para ablandar el RAP y permitir la mezcla. Las plantas son especialmente diseñadas para la preparación de mezclas asfálticas recicladas en caliente.

El RAP empleado para reciclado en caliente en la actualidad es el más utilizado a nivel mundial; en EEUU más de 50 millones de toneladas de RAP son generados anualmente por las State Highway Agencies. De esta cantidad, aproximadamente

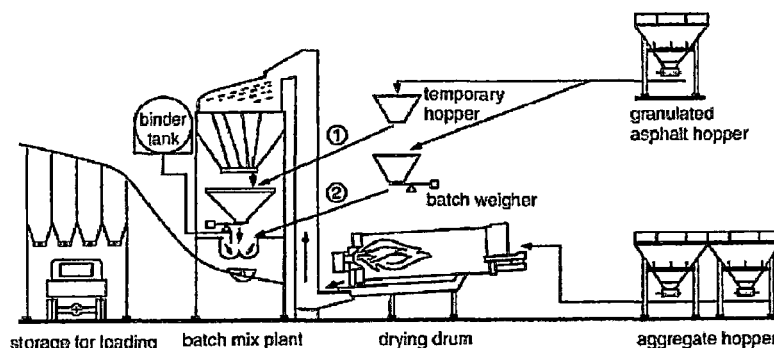
el 33% por ciento se utiliza en el reciclado en caliente, 47% se utiliza en otras técnicas de reciclado o reutilización de pavimentos y menos del 20% es eliminado. Se tienen diferentes enfoques sobre la cantidad de RAP que debe participar en la mezcla reciclada y en qué parte de la estructura del pavimento la mezcla asfáltica reciclada debe ser colocada; pero se ha utilizado con éxito en toda la estructura asfáltica incluida la superficie de rodadura; siempre y cuando previamente se haya realizado una evaluación del RAP, un diseño de mezcla y control de calidad en la construcción.

Para reciclar pavimentos en caliente, el RAP puede provenir de un CP o del raspado, remoción y trituración del pavimento existente; siendo el CP el más recomendable.

Como la transferencia de calor se utiliza para suavizar el RAP y mezclar durante el reciclado en caliente, es importante que la humedad del RAP sea mínima. El exceso de humedad en el RAP y los retenidos en los agregados vírgenes, disminuyen las tasas de producción de la planta debido a que el calor se desperdicia convirtiendo el agua en vapor, en lugar de calefacción para el ablandamiento del RAP.

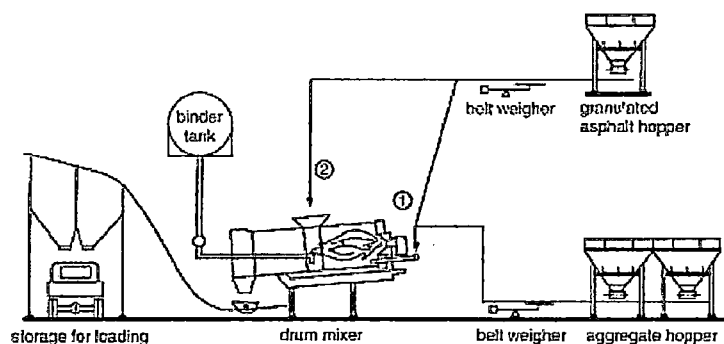
La cantidad de RAP utilizado en el reciclado en caliente tiene algunas limitaciones prácticas que están relacionadas con la tecnología de la planta, la gradación de los agregados en el RAP, las propiedades físicas de la carpeta asfáltica, y la regulación de emisión de gases. La proporción de RAP y agregados vírgenes utilizados en el reciclado en caliente han sido altas como del 85% a 90%. Sin embargo, es típico obtener valores alrededor del 15% al 25% para Batch plants y de 30% a 50% para Drum mix plants, cuyos procesos de producción pueden observarse en las figuras siguientes.

Figura 6-5 Esquema de producción del Batch plants.



Fuente: AIPCR.

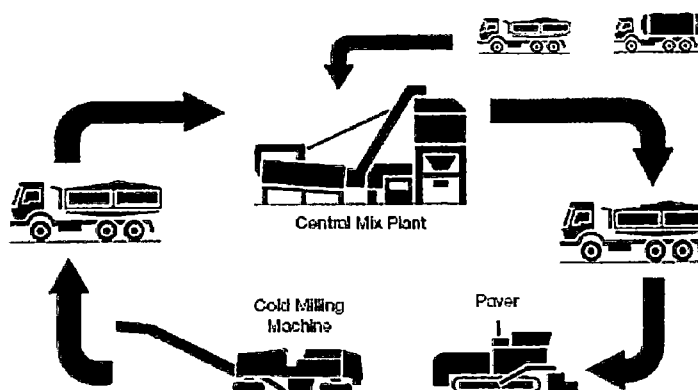
Figura 6-6 Esquema de producción del Drum mix plants.



Fuente: AIPCR.

Una vez que la mezcla reciclada ha sido producida, es transportada, colocada y compactada con equipos convencionales. No se requieren técnicas especiales para la colocación y compactación, véase la figura siguiente.

Figura 6-7 Proceso constructivo de reciclado en caliente en planta.



Fuente: WIRTGEN.

La mezcla reciclada frecuentemente es colocada a temperaturas ligeramente inferiores a las de una de HMA. Esta baja temperatura se debe a los esfuerzos por reducir los efectos de temperaturas extremadamente altas en la planta de asfalto. Debido a que la temperatura de combinación es inferior, la mezcla reciclada es rígida, y disminuye ligeramente el tiempo para la compactación.

Entre las ventajas que se obtienen al emplear reciclado en caliente, se considera lo siguiente:

- Conservación de los recursos no renovables.
- Conservación de la energía en comparación con otros métodos de reconstrucción.
- La presencia de los problemas inherentes a los métodos convencionales son eliminados.

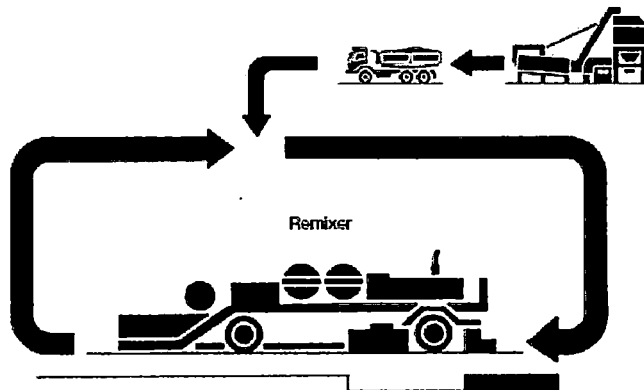
- Problemas con los agregados de gradación y/o carpeta asfáltica se puede corregir con una adecuada selección de agregados vírgenes, carpetas de asfalto y/o agentes rejuvenecedores.
- Las alturas y espacios libres pueden ser mantenidas.
- Brinda el mismo (si no mejor), rendimiento comparado con los pavimentos construidos con 100% de materiales nuevos.
- Se obtiene ahorro económico.

6.1.3 Reciclado en Caliente In – Situ

Conocido también como Hot-In place Recycling (HIR). Mediante esta técnica el 100% del pavimento asfáltico existente es reciclado en el sitio. Las profundidades típicas de tratamiento van desde $\frac{3}{4}$ a 2 pulgadas (20 a 50 mm.), aunque algunos equipos llegan hasta 3 pulgadas (75 mm.). El proceso consiste en la calefacción y el ablandamiento del pavimento asfáltico actual, permitiendo ser escarificado o molido en caliente a la profundidad deseada.

El pavimento asfáltico escarificado o desprendido se mezclará y posteriormente será colocado y compactado por equipos convencionales usados en la técnica de HMA. Agregados vírgenes, ligantes asfálticos nuevos, agentes de reciclaje y/o capas nuevas de HMA pueden ser añadidas, según sean las necesidades del proyecto.

Figura 6-8 Proceso de reciclado en caliente in-situ convencional.



Fuente: WIRTGEN.

En general las proporciones de adición de agregados vírgenes o HMA se ven limitadas por las capacidades de los equipos y es inferior al 30% por masa de mezcla de HIR. La adición de distintos tipos de aditivos se determina a partir de un análisis de las propiedades del pavimento asfáltico existente y posterior diseño de

mezcla en laboratorio, que sirve para confirmar el cumplimiento de la mezcla con las especificaciones.

Existen tres sub-categorías dentro del HIR que se utilizan para definir el reciclado de pavimento sobre la base del proceso utilizado. Estos procesos incluyen: reciclado de la superficie, remezcla, y repavimentación. El proceso de HIR utiliza una serie de equipos, incluidos los pre-calentadores, calentadores, calentadores con inclusión de escarificadores, mezcladoras, pavimentadoras, y rodillos. En consecuencia, el equipo combinado se extiende sobre una distancia considerable y es denominado a menudo como "tren".

El reciclado de la superficie en el HIR es el proceso en el que se ablanda la superficie del pavimento asfáltico, mediante el calor transferido por las unidades de pre-calentamiento y calefacción. La capa superficial calentada y ablandada se escarifica mediante una serie de dientes o púas, o mediante la molienda por rotación de un pequeño tambor a la profundidad deseada. Una vez que la superficie ha sido escarificada, se adiciona (si es necesario) un agente de reciclaje, se mezcla y se coloca con la pavimentadora.

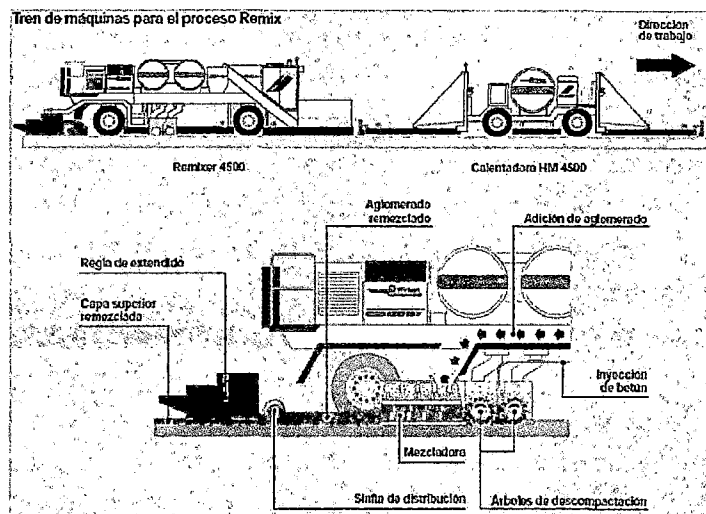
Generalmente las profundidades de tratamiento especificadas varían entre $\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{2}$ pulgadas (20 a 40 mm.). No se adiciona capas de HMA o agregado durante el proceso de reciclado de la superficie, por lo que el espesor del pavimento sigue siendo el mismo. Este proceso se utiliza en la preparación de la superficie para la colocación de capas delgadas superpuestas de HMA.

La compactación de la mezcla reciclada se realiza mediante rodillos lisos, vibratorios y de neumáticos. Posteriormente se coloca un Chip seal o HMA aún si la mezcla reciclada ha sido diseñada para carreteras de bajo volumen de tránsito.

La remezcla es el proceso de HIR en el que el pavimento asfáltico existente es calentado, ablandado y escarificado, añadiéndosele agregados, asfalto nuevo, agente rejuvenecedor y/o HMA, mezclándose completamente.

La mezcla reciclada homogénea es colocada en una capa, quedando como superficie, pero podría adicionársele independientemente chip seal o delgadas capas superpuestas de HMA.

Figura 6-9 Proceso de remezcla de reciclado en caliente in-situ.



Fuente: WIRTGEN.

La remezcla puede utilizar métodos de una o múltiples etapas. De emplearse una sola etapa, el pavimento existente es consecutivamente calentado, ablandado y al mismo tiempo escarificado a profundidad total. Para este método la profundidad de escarificación generalmente se encuentra entre 1 y 2 pulgadas (25 y 50 mm.).

La remezcla empleando el método de múltiples etapas, calienta, ablanda y escarifica el pavimento asfáltico existente en una serie de finas capas hasta lograr un tratamiento completo. Normalmente entre dos y cuatro capas es calentado y escarificado, el material escarificado por el momento es colocado en una pila para permitir la calefacción y la escarificación de la capa subyacente. La remezcla mediante múltiples etapas se realiza a profundidades comprendidas entre 1.5 y 3 pulgadas (40 y 75 mm.).

La remezcla tanto para el caso de una o múltiples etapas puede añadirse agregados o HMA nuevas, para mejorar las características de los materiales de pavimento existente o también para aumentar su espesor. El método de múltiples etapas permitirá la adición de un poco más de nuevos materiales que el de una etapa, pero ambas se limitan a valor del 30% de materiales nuevos. Por lo tanto, el proceso de remezcla aumentará ligeramente el espesor del pavimento a menos que haya sido colocada posteriormente una capa delgada de HMA.

La repavimentación combina la superficie reciclada o proceso de remezcla con la colocación en simultáneo de una o más de nuevas capas delgadas superpuestas de HMA. La capa de superficie reciclada o remezclada y la capa superpuesta de HMA se compactan en conjunto. El espesor de la nueva capa de HMA puede ser

menor que el de una construida convencionalmente ya que existe un vínculo térmico entre las dos capas y ellas se compactan al mismo tiempo.

En el proceso de repavimentación, la mezcla de la superficie reciclada funciona como capa niveladora, mientras que la nueva capa de HMA actúa como la superficie de rodadura. El espesor de la capa de rodadura estará una función del tamaño máximo de la mezcla total, pudiendo ser tan delgada como $\frac{3}{4}$ de pulgada (20 mm.) o de grosor igual a 3 pulgadas (75 mm.). Por lo tanto, el espesor del pavimento puede verse aumentado significativamente en el proceso de repavimentación.

La repavimentación también puede ser realizada en una o múltiples etapas. Para el de múltiples etapas, la mezcla de superficie reciclada se coloca para lograr un perfil longitudinal y sección transversal adecuado por su propia unidad de colocación y esparcido. La nueva capa superpuesta de HMA es inmediatamente colocada en caliente, sobre la mezcla reciclada no compactada por una pavimentadora convencional. Las dos capas son simultáneamente compactadas en una serie de pasadas de rodillos lisos vibratorios de doble tambor y de neumáticos.

Para la repavimentación de una sola etapa, se utiliza una unidad equipada con dos esparcidoras. Esta unidad también escarifica el pavimento calentado y ablandado, añade la cantidad necesaria de agente de reciclado, la mezcla reciclada inicialmente antes de la primera esparcida, recibe la HMA nueva y transporta esto sobre la mezcla reciclada. La primera esparcidora coloca la mezcla reciclada mientras que la segunda esparcidora coloca la HMA nueva sobre la parte superior de la mezcla reciclada. Las dos capas son luego compactadas mediante una serie de pasadas de rodillos lisos vibratorios y rodillos de neumáticos, como puede observarse en la figura siguiente.

Figura 6-10 Proceso de repavimentación de reciclado en caliente In-situ.



Fuente: WIRTGEN.

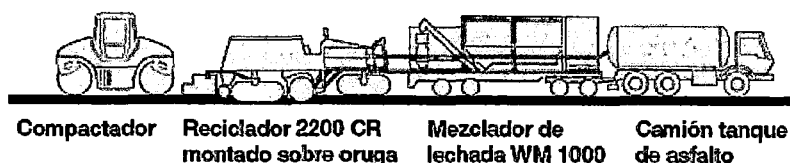
Las ventajas que se obtienen al emplear HIR son:

- Conservación de los recursos no renovables.
- Conservación de la energía.
- Reducción de camiones de transporte.
- Se elimina el problema de eliminación de residuos sólidos inherentes en los métodos convencionales.
- Tratamiento de la calzada en el ancho completo o sólo en las vías de conducción.
- Se eliminan las irregularidades y grietas de la superficie.
- Mejora la calidad del pavimento.
- Se eliminan los huecos y baches.
- Puede mantenerse las alturas y espacios libres.
- La carpeta asfáltica oxidada puede ser rejuvenecida con el uso de agentes de reciclaje y restaurar la flexibilidad del pavimento.
- Corrección de la gradación de agregados y/o carpeta asfáltica.
- Agregados extraídos de la carpeta asfáltica, pueden ser recubiertos y remezclados.
- Se restaura la fricción de la superficie.
- Unión en caliente de las juntas longitudinales.
- Reducción de molestias e interrupciones de tráfico, con la apertura de la vía al final del día.
- Se obtiene ahorro económico.

6.1.4 Reciclado en Frío

También conocido como Cold Recycling (CR), consiste en el reciclado del pavimento asfáltico para rehabilitar un pavimento sin la aplicación de calor durante el proceso. Se divide en dos sub-categorías según el proceso utilizado, siendo: Cold In – place Recycling (CIR) y Cold Central Plant Recycling (CCPR). La técnica CIR emplea una serie de piezas de equipamiento, incluidos camiones cisterna, fresadoras, unidades de trituración y cribado, mezcladoras, pavimentadoras, y rodillos. Como para el caso de HIR, la combinación de los equipos se extiende sobre una distancia considerable y por consiguiente, también es comúnmente referido como tren.

Figura 6-11 Tren de reciclado en frío in- situ.



Fuente: WIRTGEN.

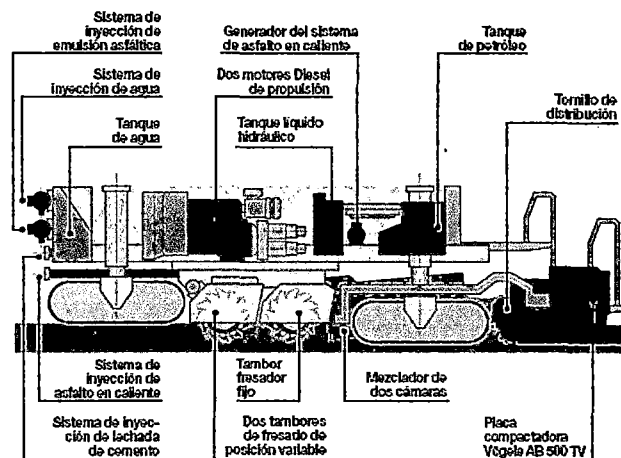
El CIR se realiza en el lugar y en general, utiliza el 100 por ciento del RAP que se genera durante el proceso. El tratamiento CIR a profundidad se encuentra típicamente en el rango de 2 a 4 pulgadas (50 a 100 mm.) cuando el agente de reciclaje es sólo una emulsión asfáltica o un agente de reciclaje emulsionado. El tratamiento para profundidades de 5 a 6 pulgadas (125 a 150 mm.) son posibles cuando los aditivos químicos, como el cemento de Portland, la cal, el polvo del horno o las cenizas volátiles se utilizan para mejorar la fuerza y la resistencia a los efectos de la humedad. Si la cal o cemento Portland se añade a la mezcla de reciclado, pueden ser añadidos en seco o como slurry. El slurry elimina los problemas potenciales de polvo y permite un mayor control de la cantidad de modificador de reciclaje que será añadido.

Existen diferentes tipos de trenes CIR con diferentes configuraciones de equipos. Los trenes se diferencian entre sí, en la forma y tamaño en que el RAP ha sido retirado, la forma en que los aditivos y modificadores de reciclaje se adicionan, la forma en que son mezclados y controlados, y la forma en que la mezcla resultante es colocada.

En el tren CIR de una sola unidad, la remoción del RAP es generalmente realizado por una fresadora mediante un rotor de corte hacia abajo. El tamaño máximo del RAP puede mantenerse menor a 2 pulgadas (50 mm.) por una velocidad controlada de avance. La adición y mezcla del aditivo de reciclaje es realizada en la cámara de corte de la maquina. La colocación de la mezcla de reciclado se realiza con la esparcidora colocada en la parte posterior de la unidad.

En el tren de una sola unidad, una cantidad predeterminada de aditivo de reciclaje es adicionada en función al volumen de tratamiento, el cual es calculado por el ancho, profundidad y velocidad de avance de la unidad en el tratamiento. Este enfoque proporciona el grado más bajo de control del proceso, ya que el volumen de tratamiento y la aplicación de la proporción de aditivo de reciclaje no están directamente relacionados.

Figura 6-12 Tren CIR de una sola unidad.



Fuente: WIRTGEN.

Los trenes CIR de dos unidades por lo general consisten en una amplia y completa fresadora, y una mezcladora - pavimentadora. La máquina fresadora remueve, separa según tamaño el RAP y deposita dentro de la mezcladora - pavimentadora. La mezcladora - pavimentadora tiene una faja transportadora de procesamiento computarizada para controlar de forma precisa la cantidad de aditivo y modificador de reciclaje que debe ser añadido. Algunas de estas máquinas están equipadas con tamizadoras que eliminan el material extra. La mezcladora - pavimentadora contiene un cilindro móvil que mezcla los materiales y controla automáticamente a la esparcidora para la colocación y compactación inicial de la mezcla.

En el tren de dos unidades, los aditivos líquidos de reciclado son adicionados en base al peso del RAP que es procesado, independientemente del ancho, profundidad y velocidad de avance del tren durante el tratamiento. Las dos unidades de tren ofrecen de intermedio a alto grado de control del proceso, debido a que el volumen de tratamiento y la proporción de aplicación del aditivo de reciclaje están directamente relacionados.

Los trenes CIR de unidades múltiples suelen consistir de un fresadora gigantesca, un remolque montado de una unidad de trituración y cribado, y un remolque montado de un cilindro móvil mezclador. La fresadora remueve el RAP, y finalmente separa según tamaño el RAP - esto se lleva a cabo en separado en una unidad móvil de trituración y cribado-. Los aditivos líquidos de reciclado son adicionados y los componentes mezclados separadamente en un cilindro de mezclado. La mezcla resultante es depositada en una pila y colocada mediante una pavimentadora de HMA convencional, equipada con una tolva de recopilación. En algunos trenes CIR, la unidad de trituración y cribado del aditivo, y las unidades

mezcladoras de aditivo son combinadas dentro de la gran unidad. Otra variante es que contiene los aditivos y mezcla obtenida en una pavimentadora.

El tamaño máximo del RAP es controlado por los tamices utilizados en la unidad de trituración y cribado. Cualquier RAP de tamaño superior es enviado a la trituradora y retornado para ser nuevamente tamizado. La cantidad de aditivo líquido de reciclado se controla con el uso de una faja transportadora y un procesamiento computarizado en la unidad de mezclado. Los aditivos líquidos de reciclado son adicionados en base al peso del RAP mientras son procesados, independientemente del ancho, profundidad y velocidad de avance del tren, y por consiguiente el más alto grado de control del proceso.

Figura 6-13 Tren CIR de unidades múltiples.



Fuente: AIPCR.

Mezclas densas de CR requiere más energía de compactación que el convencionales HMA. Esto se debe a la gran fricción interna desarrollada entre las partículas de la mezcla, la mayor viscosidad del ligante, debido al envejecimiento, y las bajas temperaturas de compactación. La compactación suele conseguirse mediante el uso de rodillos lisos, vibratorios y de neumáticos de gran tamaño.

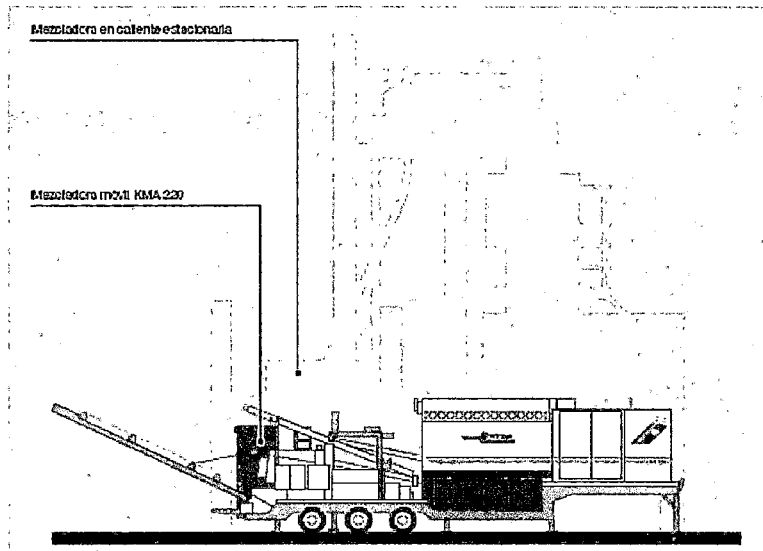
Las mezclas CIR son compactadas cuando la mezcla comienza a romper – toma de color marrón a negro-. Si las emulsiones asfálticas o aditivos de reciclaje emulsionados son usados esto podría tomar de 30 minutos a 2 horas, dependiendo de las características de la emulsión asfáltica, espesor de la mezcla CR y las condiciones ambientales. La mezcla CIR compactada deberá curar adecuadamente antes que la superficie de rodadura sea colocada.

La razón de curación es muy variable y depende de varios factores incluyendo las condiciones ambientales y drenaje, y la humedad característica de la mezcla. Períodos típicos de curado van desde varios días a dos semanas, dependiendo de

los factores anteriormente citados, del aditivo y algún modificador de reciclaje empleado.

CCPR es el proceso en el que el asfalto reciclado se lleva a cabo en una posición central, utilizando plantas estacionarias de mezcla en frío. La planta estacionaria podría ser una planta especialmente diseñada o un tren CIR, sin la fresadora, configurado de manera estacionaria.

Figura 6-14 Planta mezclado móvil y estacionaria de reciclado en frío.



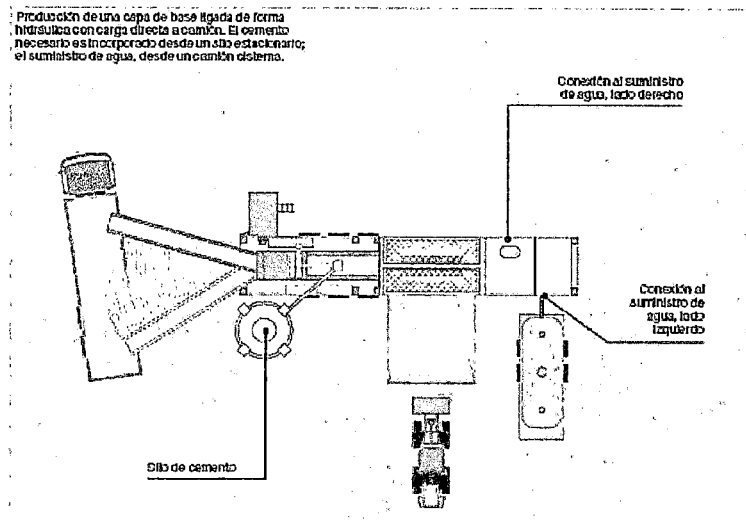
Fuente: WIRTGEN.

La mezcla CCPR puede utilizarse inmediatamente o puede ser almacenado para su posterior utilización en aplicaciones como mantenimiento de parches o reparación de baches.

El RAP usado en el CCPR es obtenido por CP o por ripeado, remoción y trituración y almacenado en la planta. La emulsión asfáltica o agentes de reciclaje emulsionado son típicamente usados como los aditivos de reciclaje. Los tipos, grados y proporciones son determinados mediante la evaluación del RAP y el proceso de diseño de mezcla. Agregados nuevos, en caso sea necesario también serán almacenadas en las instalaciones de la planta.

El CCPR generalmente consiste de una serie de bandejas de alimentación fría de RAP y agregados nuevos, una faja transportadora, un sistema de control computarizado de aditivo líquido de reciclaje, un cilindro de mezclado, una tolva de almacenamiento temporal y un cargador frontal para el llenado de los volquetes de alimentación y transporte de mezcla, si la mezcla CCPR es previamente almacenada.

Figura 6-15 Proceso de producción CCPR.



Fuente: WIRTGEN.

La mezcla CCPR es transportada al lugar de trabajo mediante volquetes convencionales o esparcidores amplios, si una máquina de apilamiento es usada. La colocación de la mezcla de CCPR es mediante una pavimentadora convencional de HMA, pero también debe ser usado un motor frío graduado. La compactación es con grandes rodillos lisos, vibratorios y de neumáticos convencionales.

La mezcla compactada CCPR es generalmente cubierta con una capa de HMA, aunque un simple o doble seal coat es algunas veces usado para carreteras de bajo tráfico. Las ventajas que se obtienen al emplear la técnica de CR son:

- Conservación de los recursos no renovables.
- Conservación de la energía en comparación con otros métodos de reconstrucción.
- Se elimina el problema de eliminación de residuos sólidos inherentes en los métodos convencionales.
- Se eliminan las irregularidades y grietas de la superficie.
- Se eliminan los huecos y baches.
- Los materiales de base y sub – base no son modificados.
- La sección transversal y el perfil longitudinal pueden ser mejorados.
- Los problemas con la gradación de los agregados de gradación y/o ligante asfáltico se pueden corregir con una adecuada selección de nuevos materiales granulares y aditivos de estabilización.
- Tratamiento estructural significativo y mejora la calidad del pavimento.

- Altas tasas de producción, mejora la seguridad por reducir las interrupciones del tráfico e inconvenientes al usuario en el lugar de la construcción.
- Se obtiene ahorro económico.

6.1.5 Recuperación a Profundidad

Conocido también como Full Depth Reclamation (FDR), es la técnica de rehabilitación en el que el espesor total del pavimento asfáltico y una determinada parte de los materiales (de base, sub - base y/o sub - rasante) es pulverizado y mezclado de manera uniforme para proporcionar un mejor y homogéneo material de base. FDR se realiza en la camino sin la adición de calor, similar a la CIR. Las profundidades de tratamiento varían en función del espesor de la estructura de pavimento existente, pero en general oscilan entre 4 a 12 pulgadas (100 y 300 mm.).

FDR consiste en la pulverización o recuperación de los materiales existentes, adición de material (cuando sea necesario), mezcla, conformación inicial de la mezcla resultante, compactación, conformación fina y la aplicación de una superficie bituminosa o carpeta de rodadura.

La recuperación de la capa asfáltica con los materiales subyacentes produce una capa de pavimento granular que se puede utilizar tal como está o puede tener adicionado otros materiales granulares colocados sobre él, o puede ser mejorado con la adición de un aditivo o aditivos de estabilización. La adición de un aditivo de estabilización suele ser necesario si el material recuperado no tiene las propiedades mecánicas necesarias y/o de resistencia estructural para soportar la carga prevista.

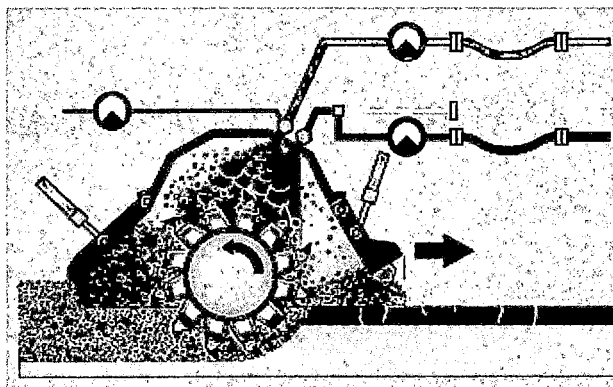
Una amplia gama de aditivos estabilizadores, tanto en forma líquida o seca, puede ser usado incluyendo el cloruro de calcio, cloruro de magnesio, cal (hidratado o cal viva), cenizas volátiles (tipo C o F), polvo de cemento (CKD) o polvo de cal (LKD), cemento Portland (seco o slurry), emulsión asfáltica (normal, alta flotación, polímero), asfalto espumado o combinaciones de dos o más de estos aditivos. Si la existencia de materiales no cuenta con la gradación deseada, propiedades de los materiales o profundidad requerida, gránulos adicionales u otros materiales pueden ser añadidos a la carretera antes o durante el proceso de FDR.

Con los años, una serie de métodos de recuperación han sido experimentados, incluyendo el uso de rippers, escarificadores, pulverizadoras - mezcladoras, fresadoras, y aditivos estabilizadores para recuperar la superficie existente y

materiales subyacentes. Sin embargo, el desarrollo de maquinarias con gran potencia de propulsión de recuperación, ha incrementado el uso de FDR debido al aumento de la profundidad de tratamiento, una mayor productividad, y sistemas más sofisticados de medición para el control en la adición de los aditivos de estabilización.

Estos recuperadores tienen un diseño especial de equipos con tambor de pulverización y mezcla, equipadas con herramientas de corte reemplazables de carburo de tungsteno. El tambor gira normalmente en dirección al corte o en dirección opuesta al movimiento de avance del recuperador durante la pasada inicial de pulverización. El tamaño del material recuperado es controlado por la velocidad de avance del recuperador, la velocidad de rotación del tambor pulverizador y mezclador, la posición de la quebrantadora y/o cámara de mezcla, y la abertura de la puerta de salida en la cámara de mezcla.

Figura 6-16 Sistema convencional de FDR.



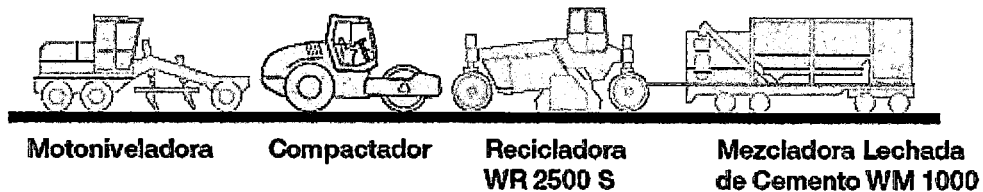
Fuente: WIRTGEN.

En algunos procesos, el aditivo estabilizador se añade para la recuperación durante el paso de la pulverización. Esta técnica tiene la ventaja de eliminar la mezcla por el recuperador y funciona bien para el tratamiento a profundidades.

La adición del aditivo estabilizador después que ha sido pulverizado el pavimento, tiene la ventaja de incrementar la velocidad de trabajo, resultando una aplicación constante y uniforme del aditivo estabilizador.

El equipo de FDR consiste en una unidad recuperadora, unidad o unidades de aditivo estabilizador, motor y rodillos graduados. Pese a no ser tan grande como una operación cualquiera de HIR o CIR, todavía es comúnmente referido como tren.

Figura 6-17 Trenes de reciclaje FDR con aditivo estabilizador.



Fuente: WIRTGEN.

Los trenes de reciclaje FDR están configurados de forma diferente, dependiendo de la aplicación de reciclaje y del tipo de aditivo estabilizador o agentes que se utilice. En todos los casos, cualquier recuperador jala o empuja junto a al equipo de aditivo estabilizador.

La conformación inicial de la carretera, después que el aditivo estabilizador (si se utiliza) ha sido agregado y mezclado por el recuperador, es conseguida por motor graduado. Esto es continuado con una compactación inicial por rodillos lisos, vibratorio y de neumáticos de gran tamaño.

La compactación final y conformación del perfil longitudinal y sección transversal requerida, es seguido por un período de curado, si el aditivo estabilizador ha sido utilizado. El período de curación depende del tipo o la combinación de los aditivos estabilizadores utilizados y las condiciones ambientales y puede variar desde 1 a 14 días.

Es preferible que el tráfico de camiones pesados se mantenga fuera del material estabilizado durante el período de curado. La aplicación de un tratamiento de superficie o de capas superpuestas de HMA se realizará como una operación independiente al final del período de curado.

Las ventajas que se obtienen al emplear la técnica de FDR son:

- Conservación de los recursos no renovables.
- Conservación de la energía en comparación con otros métodos de reconstrucción.
- Pocas piezas de equipamiento son requeridas.
- Eliminación de las ondulaciones, baches, parches y grietas del pavimento.
- Las deficiencias de la sub - rasante pueden corregirse con la estabilización.
- Problemas con la gradación de los agregados se puede corregir con una adecuada selección de nuevos materiales granulares.

- La base deteriorada puede ser rehabilitada para restaurar el drenaje y perfil de la superficie.
- Mejora estructural significativa con la adición de aditivos de estabilizadores.
- El espesor y capas de ligante producido son homogéneos.
- Permite mayor flexibilidad en la elección del tipo y espesor de las superficies de rodadura.
- Altas tasas de producción, mejora la seguridad por reducir las interrupciones del tráfico e inconvenientes al usuario en el lugar de la construcción.
- Se obtiene ahorro económico.

6.2 VENTAJAS DE LAS TÉCNICAS DE RECICLADO

Para obtener ventajas significativas en la aplicación de las técnicas de reciclado de pavimentos es primordial el tener en cuenta dos aspectos.

- Evaluación del problema: Para ello es necesario el saber reconocer cuales son las causas que han originado el deterioro del pavimento. La ARRA ha identificado varios factores que originan el deterioro de una parte o toda la estructura del pavimento y se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 6-1 Factores de deterioro del pavimento.

Modo de Deterioro del Pavimento	Potenciales Factores que Contribuyen en el Deterioro del Pavimento					
	Base / Sub - Base	Propiedades del HMA	Tráfico	Ambientales	Construcción	Estructura del Pavimento
Desprendimiento		MP	P	P	MP	
Reflejo (photoles)	P	MP	P	P	MP	P
Exudación		MP	P	P	MP	
Resistencia al deslizamiento.		MP	P			
Caída de soporte	P			P	P	P
Surcos (rutting)	P	MP	P	P	MP	P
Corrugaciones		MP	P	P	MP	
(shoving)		P	P			MP
Grietas de fatiga	MP	P	P			MP
Grietas de borde	MP		P	MP		MP
(Slippage Cracking)	P		P		MP	P

Modo de Deterioro del Pavimento	Potenciales Factores que Contribuyen en el Deterioro del Pavimento					
	Base / Sub - Base	Propiedades del HMA	Tráfico	Ambientales	Construcción	Estructura del Pavimento
Grietas en bloque	MP	MP		MP		
Grietas longitudinales					MP	
Grietas transversales		MP		MP		
Reflexión de grietas	MP		P	P		P
Grietas discontinuas	MP		P			MP
Hinchamientos	MP			P		
Protuberancias (bumps)	MP			P		
Hundimientos	MP			P		
Depresiones	MP			P		
Calidad del camino	P	P	P	P	P	P
Resistencia	MP	P		P		MP

Leyenda	
Muy probable	MP
Probable	P
Poco probable	

Fuente: ARRA.

- **Selección preliminar de rehabilitación:** Una vez identificadas las causas que originaron el deterioro del pavimento, es importante el saber seleccionar la mejor técnica más rentable que permita rehabilitar el pavimento. La ARRA ha elaborado una guía general que permite seleccionar la técnica en función al tipo de deterioro del pavimento y puede observarse en el siguiente cuadro.

Cuadro 6-2 Técnicas de rehabilitación.

Modo de Deterioro del Pavimento	Técnicas Candidatas de Rehabilitación							Reconstrucción
	CP	HIR	CIR	Thin HMA	Thick HMA	FDR	Tratamiento Combinado	
Desprendimiento		MA		MA			MA	
Reflejo (photoles)		A	MA		A		MA	
Exudación	A	A	A			A	MA	

Modo de Deterioro del Pavimento	Técnicas Candidatas de Rehabilitación							
	CP	HIR	CIR	Thin HMA	Thick HMA	FDR	Tratamiento Combinado	Reconstrucción
Resistencia al deslizamiento.	A	A	A	MA			MA	
Caída de soporte	A							MA
Surcos (rutting)	A	A	MA				MA	
Corrugaciones	A	A	MA				MA	
(shoving)	A	A	MA				MA	
Grietas de fatiga			MA		MA	MA	MA	MA
Grietas de borde						MA	MA	MA
(Slippage Cracking)		A	MA			A	MA	A
Grietas en bloque			MA			MA	MA	A
Grietas longitudinales		A	MA				MA	A
Grietas transversales		A	MA			MA	MA	A
Reflexión de grietas		A	MA			MA	MA	A
Grietas discontinuas			MA			MA	MA	A
Hinchamientos		A	A		MA	A	MA	
Protuberancias (bumps)		A	A		MA	A	MA	
Hundimientos		A	A		MA	A	MA	
Depresiones		A	A		MA	A	MA	
Calidad del camino		MA	MA		MA		MA	
Resistencia			A		MA	MA	MA	MA

Leyenda	
Muy apropiada	MA
Apropiada	A
Poco apropiada	

Fuente: ARRA.

Por lo expuesto, las ventajas comunes que se obtienen al emplear cualquiera de las técnicas de reciclado de pavimentos son:

- La reutilización y conservación de los recursos naturales no renovables.
- La preservación del medio ambiente y disminución de botaderos.
- Conservación de la energía.
- Períodos más cortos de construcción.

- Reducción de los períodos de tiempos muertos (standby) para el usuario durante la construcción.
- Incremento de la seguridad en el tráfico dentro de la zona de construcción.
- Preservación de la geometría de la carretera existente.
- Corrección de las secciones transversales y perfiles longitudinales de la carretera existente.
- No modificación del material de sub rasante, salvo que esté expresamente prevista, tales como el FDR.
- Mejora de la condición del pavimento.
- Mejora de las propiedades físicas del pavimento por la modificación de la granulometría de los agregados, así como el asfalto contenido en la carpeta asfáltica de la carretera existente.
- Mitigación o eliminación de las grietas de reflexión mediante algunos métodos.
- Mejora del rendimiento de la carretera.
- Ahorro de costos.

7.0 APLICACIÓN CARRETERA CENTRAL TRAMO SAN MATEO – LA OROYA

7.1 MEMORIA DESCRIPTIVA

Debido al fenómeno de El Niño del año de 1998, los daños producidos por efectos de la temporada de lluvias fueron de gran magnitud que produjeron daños de mayor cuantía a lo largo de toda la Carretera Héroes de la Breña y otras vías nacionales.

Para llevar a cabo los estudios de rehabilitación de dichas vías, el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción a través del Sistema Nacional de Mantenimiento de Carreteras (SINMAC), implementó el “Proyecto de Rehabilitación de Carreteras Afectadas por El Niño”, que fue financiado por el Tesoro Público, con recursos directamente recaudados por el SINMAC y el Japan Bank for International Cooperation (JBIC), antes Fondo de Cooperación Económica a Ultramar del Japón (OECF).

Una de las vías por rehabilitar en el marco de este proyecto fue la Carretera Héroes de la Breña, comprendido entre el Puente Ricardo Palma y La Oroya. Fue dividida en cuatro tramos, siendo el Tramo 4 San Mateo – La Oroya, objeto del presente tema de investigación.

7.1.1 Objetivos del Proyecto

El proyecto de rehabilitación del Tramo 4 San Mateo – La Oroya, tuvo por objeto restituir las condiciones de servicio de la carretera, a través de trabajos de rehabilitación y mejoramiento de la superficie de rodamiento, estructuras de drenaje, obras de arte, y dispositivos de señalización y seguridad vial.

Para este efecto, mantuvo las características geométricas de la vía, comprendiendo las actividades siguientes:

- Diseño de un pavimento de acuerdo a las exigencias de tráfico circulante y proyectado.
- Reparación y mejoramiento del sistema de drenaje y obras de arte.
- Mejoramiento de los dispositivos de señalización y seguridad vial.
- Tratamiento de las zonas críticas con problemas de estabilidad de taludes.

7.1.2 Beneficios

Como efecto de la rehabilitación de la carretera, se obtuvieron los beneficios siguientes:

Directos:

- Reducción de fletes debido a la utilización de vehículos de mayor tonelaje.
- Disminución de los tiempos de recorrido de los vehículos.
- Menores costos de operación de los vehículos.
- Reactivación del turismo interno y receptivo.
- Integración de las diferentes zonas por donde cruza la ruta.

Indirectos:

- Mejora en la competitividad de productos de las zonas que no podían acceder a determinados mercados, debido a los elevados costos de transporte.
- Favorecer la productividad del área de influencia de la vía.

7.1.3 Ubicación del Proyecto

El tramo en estudio forma parte de la Carretera Héroes de la Breña y su inicio se encuentra ubicado en la provincia de Huarochirí, departamento de Lima, y finaliza en la provincia de La Oroya, departamento de Junín.

Se encuentra delimitada por medio de las progresivas siguientes:

- Inicio: Km. 97+080, ubicada en la salida de San Mateo.
- Fin: Km. 176+319.34, ubicada en la ciudad de La Oroya.

Lo que da una longitud total de 79,314 metros.

7.1.4 Secciones Típicas

Se ha conservado el trazo de la carretera y no se ha incorporado variantes ni rectificaciones, por lo que se ha mantenido las características planimétricas y de rasante de la carretera.

La actual vía tiene pavimento flexible, con un ancho de calzada de 7.20 m. que consta de dos carriles de 3.60 m. uno de cada sentido, conservándose esta dimensión en todo el tramo.

Las cunetas triangulares existentes tienen 1.00 m. de ancho total (base del triángulo) y 0.40 m. de profundidad.

Las cunetas nuevas proyectadas en los sectores en que falta este elemento tienen 1.20 m. de ancho total y 0.40 m. de profundidad, con el objetivo de homogenizar las dimensiones en todo el tramo.

El plano de ubicación, así como los planos de secciones típicas del tramo en estudio puede observarse en el Anexo A.

7.2 EVALUACIÓN DEL TRAMO

7.2.1 Suelos

Los suelos que conforman la estructura del pavimento son principalmente gravas limosas y arcillosas de baja plasticidad, sobre una capa sub rasante conformada por material granular de buena calidad.

Las características de los suelos que integran la estructura del pavimento son homogéneas, sin embargo se ha realizado una zonificación general en base al tipo de suelo predominante en cada sector.

7.2.1.1 Sub - Base Granular

Formada principalmente por gravas limpias arcillosas y limosas, (GW-GC, GW-GM, GP-GC, GP-GM).

7.2.1.2 Sub – Rasante

Se sectorizó de la manera siguiente:

Cuadro 7-1 Sectorización de la sub-rasante por tipo de suelo.

Progresiva (km.)		Longitud (km.)	Tipo de Suelo
Inicio	Fin		
97+000	109+000	12.0	Predominan las gravas limo-arcillosas (GM-GC).
109+000	116+500	7.5	Predominan las gravas limpias arcillosas y limosas (GW-GC, GW-GM, GP-GC, GP-GM).
116+500	139+000	22.5	Predominan gravas limo-arcillosas (GM-GC).
139+000	148+000	9.0	Predominan las gravas limpias arcillosas y limosas (GW-GC, GW-GM, GP-GC, GP-GM).
148+000	151+000	3.0	Predominan las gravas limosas (GM).
151+000	166+500	15.5	Predominan las gravas limpias arcillosas y limosas (GP-GC, GP-GM).
166+500	176+320	9 + 820	Predominan las gravas limosas y arcillosas (GM y GC).

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Además, en las calicatas al nivel de la capa sub rasante se realizó el respectivo control de densidad de campo, las cuales fueron correlacionadas con las curvas de capacidad de soporte (CBR) vs máxima densidad seca (MDS), obteniéndose los resultados siguientes.

Cuadro 7-2 Valores de CBR de la sub-rasante en función a la densidad in-situ.

Progresiva	Profundidad (m.)	SUCS	AASHTO	Grado de Compactación (%)	CBR	
					Para la Densidad Natural Seca	Promedio y sectorizado en Función al Tipo de Suelo
97+000	0.75-1.50	GM-GC	A-2-4	94	45	27
98+070	0.38-1.50	GP-GC	A-1-a	93	24	
98+890	0.40-1.50	GM-GC	A-1-a	95	23	
99+940	0.37-1.50	GP-GC	A-1-a	94	30	
100+620	0.57-1.50	GW-GC	A-1-a	94	47	
101+100	0.30-0.50	GM-GC	A-1-a	94	11	
102+000	0.65-1.05	GM-GC	A-1-a	94	20	
103+000	0.45-0.65	GC-GM	A-2-6	94	12	
104+000	0.40-1.50	GC	A-2-4	94	28	
105+000	0.40-0.70	GP-GC	A-1-a	94	32	
106+000	0.50-0.75	GW-GM	A-1-a	94	24	
107+000	0.05-1.50	GM-GC	A-2-4	94	20	
108+120	0.65-1.50	GP-GC	A-2-4	92	38	
108+850	0.70-1.50	GM-GC	A-1-a	95	30	26
110+050	0.40-1.50	GM	A-2-4	94	20	
111+000	0.35-0.65	GC	A-2-4	94	33	
112+000	0.35-0.45	GC	A-2-4	94	23	
113+000	0.40-1.00	GP-GC	A-1-a	91	13	
114+000	0.80-1.50	GW-GM	A-1-a	94	38	
115+000	0.60-1.60	GC	A-2-4	94	20	
116+000	0.40-1.00	GP-GC	A-2-4	96	34	25
117+000	0.40-0.80	GC	A-2-4	94	14	
118+000	0.40-1.20	GC	A-2-4	95	13	
119+000	0.40-1.50	GM-GC	A-1-b	94	15	

Progresiva	Profundidad (m.)	SUCS	AASHTO	Grado de Compactación (%)	CBR		
					Para la Densidad Natural Seca	Promedio y sectorizado en Función al Tipo de Suelo	
120+000	0.65-0.90	SM-SC	A-1-b	92	9		
121+000	0.50-1.50	GM-GC	A-1-a	95	14		
122+040	0.85-1.50	GM-GC	A-1-a	95	14		
123+000	0.75-1.00	GW-GM	A-1-a	95	42		
124+000	0.55-0.95	GM-GC	A-1-b	94	32		
125+000	0.60-1.50	GM-GC	A-1-a	95	18		
126+000	0.60-1.50	GM-GC	A-1-a	95	28		
127+000	0.60-1.50	GM-GC	A-1-a	95	38		
128+000	0.60-1.50	GP-GC	A-2-4	94	27		
129+000	0.65-1.50	GC	A-2-4	94	16		
130+050	0.85-1.50	GC	A-2-4	95	17		
131+000	0.80-1.50	GM-GC	A-2-4	92	20		
132+000	0.60-0.95	GM-GC	A-1-b	95	33		
133+000	0.60-1.50	GM-GC	A-1-b	94	14		
134+080	0.40-1.50	GM-GC	A-1-a	95	27		
135+000	0.40-1.50	GM	A-1-b	94	42		
136+040	0.55-1.50	GM	A-1-b	94	44		
137+000	0.70-1.00	GM	A-2-4	93	36		
138+000	0.35-0.75	GM	A-1-b	93	45		
138+980	0.50-1.50	GC	A-2-4	95	22		
140+000	0.35-1.10	GP-GC	A-1-a	95	32		30
141+000	0.35-1.50	GP-GM	A-1-a	94	24		
142+000	0.70-1.10	GW-GM	A-1-a	93	38		
143+000	0.65-1.50	GC	A-2-4	93	14		
144+000	0.40-1.10	GP-GC	A-1-a	92	26		

Progresiva	Profundidad (m.)	SUCS	AASHTO	Grado de Compactación (%)	CBR	
					Para la Densidad Natural Seca	Promedio y sectorizado en Función al Tipo de Suelo
145+000	0.55-1.50	GM	A-1-a	93	40	
146+000	0.35-1.50	GP-GC	A-1-a	93	40	
147+000	0.50-1.50	GP-GM	A-1-a	93	49	
148+000	0.60-0.85	GW	A-1-a	93	10	
149+000	0.65-1.40	GM-GC	A-1-b	93	17	24
150+000	0.60-1.50	GM	A-2-4	94	13	
151+000	0.65-0.95	GM	A-1-a	93	42	
152+000	0.45-1.50	GP-GM	A-1-a	94	51	45
153+000	0.70-1.50	GM	A-1-b	93	45	
154+000	0.45-1.50	GP-GM	A-1-a	93	56	
155+000	0.45-1.50	GP-GM	A-1-a	94	49	
156+000	0.45-1.50	GP-GM	A-1-a	94	51	
157+000	0.50-1.50	GP-GM	A-1-a	93	42	
158+000	0.45-1.50	GP-GC	A-1-a	93	42	
159+000	0.35-1.50	GW-GM	A-1-a	93	35	
160+000	0.45-1.15	GM	A-1-b	94	31	
161+000	0.45-1.10	GW-GM	A-1-a	94	49	
162+000	0.45-1.15	GP	A-1-a	94	50	
163+000	0.75-1.50	GW-GC	A-1-a	93	47	
164+000	0.45-1.50	GP-GM	A-1-a	93	47	
165+000	0.72-1.50	GM	A-1-b	93	28	
166+000	0.82-1.50	GW-GM	A-1-a	93	46	
167+000	0.77-1.50	GM-GC	A-1-a	93	14	31
168+000	0.37-1.50	GM	A-1-a	94	40	
169+000	0.68-1.50	GP-GM	A-1-a	93	53	

Progresiva	Profundidad (m.)	SUCS	AASHTO	Grado de Compactación (%)	CBR	
					Para la Densidad Natural Seca	Promedio y sectorizado en Función al Tipo de Suelo
170+000	0.38-0.88	GM	A-1-b	93	32	
171+000	0.53-1.50	GM-GC	A-2-4	93	17	
172+000	0.43-1.50	GW-GC	A-1-a	94	40	
173+000	0.43-1.50	GW-GM	A-1-a	94	44	
174+000	0.35-1.50	GW-GM	A-1-a	93	40	
174+250	0.55-1.50	GW-GM	A-1-a	89	14	
174+700	0.07-1.50	GW-GM	A-1-a	94	39	
175+040	0.45-1.50	GM	A-1-b	91	17	
175+260	0.43-0.78	GM-GC	A-1-a	92	20	
175+500	0.26-1.50	GM-GC	A-1-a	97	26	
175+700	0.32-1.50	GP-GC	A-1-a	91	34	
176+040	0.35-1.50	GC	A-2-4	—	—	—
176+304	0.53-1.50	GM-GC	A-1-b	—	—	

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL

Del cuadro anterior puede observarse que la sub-rasante en promedio tiene grados de compactación elevados, debido al volumen de vehículos pesados que transitan por la vía y que han consolidado las diferentes capas del pavimento con el transcurso del tiempo. Además ofrece valores promedio de CBR igual a 30, lo cual resulta conservador, ya que por las razones expuestas anteriormente este valor podría ser superior a 60.

7.2.1.3 Base – Granular

Se sectorizó de la manera siguiente:

Cuadro 7-3 Sectorización de la base granular por tipo de suelo.

Progresiva (km.)		Longitud (km.)	Tipo de Suelo
Inicio	Fin		
97+000	108+000	11.0	Predominan las gravas limo-arcillosas (GM-GC).
108+000	117+000	9.0	Predominan las gravas limpias arcillosas y limosas (GW-GC, GW-GM, GP-GC, GP-GM).
117+000	118+000	1.0	Predominan gravas limo-arcillosas (GM-GC).
118+000	171+000	53.0	Predominan las gravas limpias arcillosas y limosas (GW-GC, GW-GM, GP-GC, GP-GM).
171+000	176+320	5.32	Predominan gravas limo-arcillosas (GM-GC).

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

7.2.1.4 Carpeta Asfáltica

Se sectorizó en función a los espesores de las capas de material que conforman el pavimento y se muestra a continuación.

Cuadro 7-4 Sectorización de la carpeta asfáltica en función a los espesores.

Sección	Progresiva (km.)		Longitud (km.)	Carpeta Asfáltica (cm.)	Base Granular (cm.)	Sub – Base Granular (cm.)	Espesor Total (cm.)
	Inicio	Fin					
1	97+000	101+000	13.0	12.0	25.0	0.0	37.0
2	101+000	104+500	16.5	17.0	20.0	0.0	37.0
3	104+500	110+000	17.3	20.0	20.0	20.0	60.0
4	110+000	112+500	7.5	15.0	20.0	0.0	35.0
5	112+500	114+000	9.3	20.0	20.0	0.0	40.0
6	114+000	117+500	13.3	15.0	25.0	0.0	40.0
7	117+500	121+800	4.3	20.0	20.0	0.0	40.0
8	121+800	127+300	5.5	15.0	40.0	0.0	55.0
9	127+300	128+600	1.3	20.0	20.0	20.0	60.0
10	128+600	135+300	10.4	20.0	20.0	20.0	60.0
11	135+300	139+000	7.2	15.0	20.0	20.0	55.0
12	139+000	142+500	6.0	10.0	25.0	0.0	35.0

Sección	Progresiva (km.)		Longitud (km.)	Carpeta Asfáltica (cm.)	Base Granular (cm.)	Sub – Base Granular (cm.)	Espesor Total (cm.)
	Inicio	Fin					
13	142+500	145+000	9.3	15.0	20.0	20.0	55.0
14	145+000	151+800	13.0	15.0	20.0	20.0	55.0
15	151+800	158+000	11.4	15.0	30.0	0.0	45.0
16	158+000	163+200	14.1	13.0	30.0	0.0	43.0
17	163+200	172+100	12.6	13.0	30.0	0.0	43.0
18	172+100	175+800	3.7	10.0	25.0	0.0	35.0

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Del cuadro puede observarse que los espesores varían entre 10 y 20 cm. Además se observaron fisuras que afectan más de la mitad de su espesor, y ocasionalmente su espesor total. El sector que comprende la zona de Ticlio, presenta una capa tipo Binder, que es una capa intermedia de refuerzo, de mezcla asfáltica, diseñada para soportar tránsito pesado.

7.2.2 Pavimento

Se realizaron evaluaciones superficiales y estructurales del pavimento, mediante ensayos no destructivos, tales como: Bump Integrator y Viga Benkelman, para medir las rugosidades y deflexiones del pavimento. Mediante sus resultados se pudo conocer las condiciones de serviciabilidad del pavimento existente, y en función a ello se determinó los trabajos de conservación y/o rehabilitación que deben realizarse en el pavimento. La estructura de pavimento se encuentra conformada de la manera siguiente.

Cuadro 7-5 Conformación de la estructura del pavimento.

Progresiva (km.)		Longitud (km.)	Estructura del Pavimento
Inicio	Fin		
97 + 000	175 + 880	78.88	Carpeta asfáltica variable de 7 a 20 cm. de espesor, base granular variable de 10 a 40 cm. de espesor, y sub base granular variable entre 15 y 35 cm. de espesor.
175 + 880	176 + 320	0.44	Concreto hidráulico.

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

7.2.2.1 Evaluación Superficial del Pavimento

Se realizaron labores de relevamiento de fallas del pavimento y medición de la rugosidad, comprendiendo las actividades siguientes:

- Evaluación visual del estado superficial del pavimento.
- Evaluación de la capacidad de servicio del pavimento.

La evaluación visual se realizó determinando el grado de deterioro de la carpeta de rodadura, de tal manera que permita una cuantificación de las fallas observadas: fisuras, desintegración, trabajos de parchado, ondulamientos, exudación y otros. La clasificación por tipos de falla está en función al criterio establecido por CONREVAL que se muestra a continuación.

Cuadro 7-6 Tipos de falla en el pavimento – CONREVAL.

Tipo de Falla	Manifestación	Simbología
I. Deformaciones.	1. Ahuellamiento.	
	2. Hundimiento (depresión).	
	3. Desplazamientos.	
	4. Deslizamientos.	
	5. Ondulaciones.	
II. Fisuras o Agrietamientos.	1. Piel de cocodrilo.	
	2. En bloque.	
	3. Longitudinales.	
	4. Transversales.	
	5. Reflejadas.	
	6. En arco	
III. Disgregaciones.	1. Peladuras.	
	2. Nidos de gallina.	
	3. Desintegraciones totales.	
	4. Indentaciones.	
	5. Pulimiento superficial.	

Tipo de Falla	Manifestación	Simbología
IV. Exudación.	1. De asfalto.	
Mantenimiento.	Parchados o bacheo.	

Fuente: CONREVIAl.

i) Evaluación de las fallas:

Se lograron identificar los tipos de falla que han contribuido al deterioro del pavimento existente. La toma de datos se efectuó sistemáticamente, permitiendo recopilar los datos siguientes:

- Progresivas evaluadas.
- Área de influencia.
- Tipos de falla existente.

Los daños consisten principalmente en fisuras abiertas (severas) del tipo longitudinal, transversal y en bloque en grado escaso a extensivo y zonas aisladas con ahuellamiento severo. El resumen sectorizado de los resultados obtenidos en la evaluación, se muestra a continuación.

Cuadro 7-7 Resumen de evaluación de fallas por sector.

Progresiva (km.)		Tipo de Falla
Inicio	Fin	
97 + 000	104 + 600	Fisuras transversales y longitudinales en zonas aisladas moderadas, grietas en bloque moderadas a severas en zonas aisladas.
104 + 600	107 + 000	Ahuellamiento severo con desplazamiento de carpeta del km. 104+600 al 106+300. Fisuras tipo piel de cocodrilo y en bloque moderadas en zonas aisladas.
107 + 000	110 + 000	No se aprecian daños importantes. Existe ondulamiento y ahuellamiento en zonas muy aisladas.
110 + 000	112 + 000	Ahuellamiento moderado a severo. Fisuras transversales y longitudinales en zonas muy aisladas.
112 + 000	115 + 200	Ahuellamiento moderado a severo. Fisuras en bloque severas y piel de cocodrilo moderadas frecuentes en zonas aisladas.
115 + 200	117 + 500	Fisuras en bloque severas y frecuentes, piel de cocodrilo moderado, hundimientos moderados.
117 + 500	119 + 000	Fisuras longitudinales y transversales escasas a moderadas. Desintegración total de carpeta del km. 117+800 al 118+000.
119 + 000	121 + 000	Fisuras longitudinales, transversales escasas y en bloque severa

Progresiva (km.)		Tipo de Falla
Inicio	Fin	
		frecuente. Tipo piel de cocodrilo con hundimiento moderado.
121 + 000	122 + 000	No se aprecian daños importantes. Existe peladura moderada de la carpeta asfáltica.
122 + 000	124 + 000	Fisuras longitudinales, transversales escasas y en bloque severa frecuente. Tipo piel de cocodrilo con hundimiento moderado.
124 + 000	125 + 000	Fisuras en bloque y tipo piel de cocodrilo frecuente a extensiva con hundimiento moderado, longitudinal y transversal en zonas aisladas. Peladuras y baches moderados.
125 + 000	130 + 200	Fisuras transversales escasas a frecuentes, bloque y longitudinales escasas a moderadas.
130 + 200	133 + 400	No se aprecian daños importantes. Fisuras tipo piel de cocodrilo moderados escasos en zonas muy puntuales.
133 + 400	147 + 000	Fisuras en bloque severo frecuentes, piel de cocodrilo moderado a severas con hundimientos. Peladuras y baches escaso a moderado.
147 + 000	152 + 000	Fisuras en bloque frecuente a extensiva; piel de cocodrilo, transversales y longitudinales moderada a severas frecuente.
152 + 000	160 + 000	Fisuras longitudinales y transversales escasas a frecuentes en zonas aisladas, fisuras en bloque severas escasas.
160 + 000	161 + 000	Fisuras transversales y en bloque severas, longitudinal y piel de cocodrilo moderadas a severa escasas.
161 + 000	164 + 000	Ahuellamiento leve a moderado en carril izquierdo. Fisuras en bloque severo en zonas aisladas.
164 + 000	166 + 000	No se aprecian daños importantes.
166 + 000	167 + 000	Ahuellamiento leve y fisura piel de cocodrilo moderado escaso.
167 + 000	172 + 200	No se aprecian daños importantes.
172 + 200	176 + 320	Fisuras en bloque severo, piel de cocodrilo moderada. Peladuras y baches moderados a frecuente con hundimientos severos.

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

De la información anterior, se obtiene zonas con condición de daños crítica y se detallan a continuación.

Cuadro 7-8 Sectores críticos del pavimento.

Progresiva (km.)		Tipo de Falla
Inicio	Fin	
114 + 400	114 + 460	Desintegración total de carpeta, zona de acceso a mina y curva de vuelta de radio reducido.
115 + 750	116 + 650	Fisuras en bloque severo y piel de cocodrilo frecuente a extensiva.
117 + 800	118 + 020	Desintegración total de carpeta, filtraciones de agua en el talud de corte, problemas de inestabilidad.
124 + 050	125 + 050	Fisuras en bloque severas en magnitud extensiva con fisuras tipo piel de cocodrilo leve.
136 + 500	137 + 000	Desintegración total de carpeta, zona con fisuras en bloque severas en magnitud extensiva con hundimientos. Zona inestable con filtraciones de agua.
147 + 100	148 + 150	Fisuras en bloque severas y piel de cocodrilo frecuente a extensiva.
172 + 300	175 + 880	Fisuras en bloque severas, peladuras y baches en magnitud moderada a extensiva con hundimientos en zonas aisladas.

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Además del kilómetro 175+880 al 176+320 existe pavimento rígido que fue evaluado realizando un inventario de fallas. Predominan las fracturas con fisuras abiertas del tipo transversal, y en algunas zonas llegan a ser del tipo bloque con hundimientos. Del inventario de fallas, se concluye que el 98% del daño es severo, por lo que se recomendó el reemplazo total del pavimento rígido.

ii) Medición de ahuellamientos:

Se empleó una regla de 2 m. de longitud para su medición. Fueron medidos cada 50 m., en las dos huellas de ambos carriles, realizando cuatro mediciones por estación, siendo clasificada la magnitud conforme a lo indicado en cuadro siguiente.

Cuadro 7-9 Tipos de ahuellamiento.

Magnitud (mm.)	Clasificación
De 0 a 6	Leve
De 6 a 12	Moderado
Mayor a 12	Severo

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

En función a lo indicado en el cuadro anterior se sectorizó el tramo, caracterizándolo con el valor medio respectivo y obteniendo el cuadro de resultados siguiente.

Cuadro 7-10 Ahuellamientos del pavimento por sector.

Progresiva (km.)		Longitud (km.)	Ahuellamiento Promedio por carril (mm.)	
Inicio	Fin		Izquierdo	Derecho
97 + 000	104 + 200	7.2	6	6
104 + 200	111 + 050	6.85	13	7
111 + 050	117 + 200	6.15	10	7
117 + 200	124 + 600	7.4	8	7
124 + 600	142 + 450	17.85	7	5
142 + 450	152 + 500	10.05	6	5
152 + 500	164 + 350	11.85	12	5
164 + 350	172 + 100	7.75	8	4
172 + 100	175 + 850	3.75	13	12
Promedio (mm.)			9	6

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Del cuadro puede deducirse que la mayor parte del tramo los ahuellamientos varían de leves a moderados, solo siendo de grado severo el 29% del carril izquierdo y de 5% para el carril derecho.

iii) Medición de la rugosidad e índice de serviciabilidad presente (PSI):

Para obtener el grado de serviciabilidad del pavimento se ha recurrido al parámetro denominado "Índice de Serviabilidad Presente (PSI)", el cual establece la condición funcional actual del pavimento de acuerdo a criterios desarrollados en el Experimento Vial AASHTO.

Siendo la medición de la rugosidad el dato principal para determinar el PSI y existiendo diversos métodos de cálculo, estando estos en función al tipo de equipo que se emplee; por ejemplo el rugosímetro tipo "Bump Integrator Unit" (Unidad Integradora de muelles) es utilizado para medir la rugosidad de la vía rehabilitada en ambos carriles, este equipo va montado en la tolva de la camioneta, conectado directamente con el diferencial del eje trasero mediante un cable flexible adecuadamente tesado. Conforme el vehículo recorre la vía a una velocidad uniforme, el Bump Integrator medirá los movimientos relativos entre el chasis y el

eje trasero almacenando los datos en la Unidad Contadora instalada en el panel de control de la cabina. Otro equipo es el "Merlín", equipo de diseño simple fabricado especialmente para su uso en países en vías de desarrollo. Este rugosímetro solamente requiere de un operador, que luego de una previa calibración, recorre a pie el sector en estudio efectuando 200 mediciones a intervalos regulares abarcando una distancia de 430 m. aproximadamente.

En el proyecto se empleó el Bump Integrator, debidamente calibrado, equipo tipo respuesta que permite correlacionar sus resultados con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Las mediciones se efectuaron cada 100 m. en forma continua, en ambos carriles. El Merlín se empleó para la calibración del Bump Integrator, conforme lo recomendado por "Transport and Road Research Laboratory" de Inglaterra.

De la calibración se obtuvo la ecuación de correlación siguiente:

$$IRI = -4E-07*BI^2 + 0.0004*BI + 1.1324$$

Siendo su coeficiente de correlación igual a 0.7995.

La medición de la rugosidad del pavimento se realizó cada 100 m. en los carriles de ida y vuelta del tramo en estudio, obteniendo resultados en unidades BI. Luego el IRI será el resultado de reemplazar los datos obtenidos por el Bump Integrator en la ecuación de correlación.

El cálculo del PSI se ha efectuado utilizando la expresión aproximada establecida por Sayers, que relaciona la rugosidad con el PSI. La ecuación de correlación se desarrolló usando los datos obtenidos en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad en Caminos, realizado en Brasil el año de 1982, el cual tiene la siguiente expresión:

$$IRI = 5.5*\ln(5.0/PSI) \quad +/- 25\% \quad \text{para } IRI < 12$$

Donde:

IRI : Índice de rugosidad del pavimento.

PSI : Índice de serviciabilidad del pavimento.

Despejando la ecuación, se obtiene el PSI en función al IRI mediante la expresión siguiente:

$$PSI = 5.0/(\exp^{(IRI/5.5)})$$

El rango de serviciabilidad presente (PSR), sigue los criterios desarrollados en el Experimento Vial AASHTO, cuya escala de calificación se muestra a continuación.

Cuadro 7-11 Escala de calificación de transitabilidad.

PSR	Transitabilidad
0 a 1	Muy mala.
1 a 2	Mala.
2 a 3	Regular.
3 a 4	Buena.
4 a 5	Muy buena.

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

De las mediciones en campo se obtuvo un IRI promedio en el carril derecho igual a 3.07 m./km., correspondiéndole un valor de PSI igual a 2.86. Para el carril izquierdo el IRI promedio es igual a 3.31 m./km., y le corresponde un valor de PSI igual a 2.74. De acuerdo a la escala de calificación se considerará una vía de transitabilidad regular. Además, el IRI característico en base a los criterios establecidos por CONREVIAl, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IRI_c = IRI \text{ promedio} + 1.645 * \text{Desv. Estándar}$$

Del análisis de información correspondiente, se obtienen los sectores siguientes:

Cuadro 7-12 Rugosidad característica del pavimento por sector.

Progresiva (km.)		Rugosidad Promedio (m./km.)	Desviación Estándar	Rugosidad Característica (m./km.)
Inicio	Fin			
97 + 000	114 + 300	2.92	1.18	4.85
114 + 300	124 + 900	3.19	2.50	7.30
124 + 900	135 + 700	2.40	0.52	3.25
135 + 700	151 + 700	4.26	2.23	7.93
151 + 700	159 + 800	2.46	0.74	3.68
159 + 800	172 + 000	2.01	0.44	2.73
172 + 000	175 + 000	7.48	4.56	14.99

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Reemplazando, estos valores en la ecuación definida por Sayers, se obtiene el cuadro de resultados siguiente:

Cuadro 7-13 Calificación del pavimento en función al PSI.

Progresiva (km.)		PSI Promedio	Desviación Estándar	PSI Característico	Transitabilidad Característica
Inicio	Fin				
97 + 000	114 + 300	3.03	0.46	2.28	Regular
114 + 300	124 + 900	3.02	0.76	1.77	Mala
124 + 900	135 + 700	3.25	0.27	2.80	Regular
135 + 700	151 + 700	2.53	0.69	1.40	Mala
151 + 700	159 + 800	3.24	0.34	2.67	Regular
159 + 800	172 + 000	3.48	0.24	3.09	Buena
172 + 000	175 + 880	1.78	0.84	0.40	Muy mala

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Del cuadro anterior, se deduce que el tramo conformado por pavimento flexible a nivel de transitabilidad es: 15% buena, 46% regular y 39% mala.

7.2.2.2 Evaluación Estructural del Pavimento

Se midió la deformabilidad del pavimento flexible mediante el ensayo de deflectometría con la viga Benkelman. Se realizó cada 50 m., en forma de tres bolillos a la totalidad del tramo y en ambos carriles.

Para determinar la capacidad estructural del pavimento existente se tomaron en cuenta los resultados obtenidos en el ensayo y se correlacionaron mediante el método racional elástico de regresión, conocido como Método de Hogg, el cual mediante el uso de modelos elásticos para pavimentos y la medición experimental de deflexiones, determina la capacidad estructural del pavimento, y de la sub rasante. La medición de las deflexiones recuperables fue realizada para las distancias de 25, 30, 40, 50, 70, 100, 500 y mayor de 500 cm. Estos resultados fueron procesados por el software Benkel 3.7 para determinar los módulos de elasticidad de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento y del material sub rasante. Posteriormente, mediante una ecuación empírica se obtuvo la capacidad de soporte de la sub rasante, cuyos valores permitieron determinar el espesor de pavimento nuevo de refuerzo.

Los datos obtenidos en el ensayo de deflectometría, fueron correlacionados y graficados, para poder identificar sectores homogéneos, el cual resultó ser la cantidad de siete y se muestran en el cuadro a continuación.

Cuadro 7-14 Sectorización del pavimento en función a su deflexión característica.

Sector	Progresiva (km.)		Deflexión Promedio	Desviación Estándar	Deflexión Característica
	Inicio	Fin			
I	97 + 000	110 + 200	28.51	11.20	46.93
II	110 + 200	127 + 300	38.83	11.52	57.78
III	127 + 300	135 + 150	26.85	11.56	45.86
IV	135 + 150	142 + 400	47.75	12.21	67.85
V	142 + 400	163 + 050	38.71	15.25	63.80
VI	163 + 050	172 + 050	32.55	7.98	45.67
VII	172 + 050	175 + 880	55.00	21.33	90.09

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Posteriormente se obtuvieron las propiedades estructurales del pavimento para cada sector homogéneo y se muestran a continuación.

Cuadro 7-15 Propiedades estructurales del pavimento.

Sector	Progresiva (km.)		Lo (cm.)	Mr (KSI)	CBR	E* (kg./cm. ²)
	Inicio	Fin				
I	97 + 000	110 + 200	35.0	21.5	13.8	6543
II	110 + 200	127 + 300	20.7	18.0	11.5	2514
III	127 + 300	135 + 150	35.4	21.5	13.8	5397
IV	135 + 150	142 + 400	16.7	16.6	10.7	1927
V	142 + 400	163 + 050	15.7	20.5	13.1	1980
VI	163 + 050	172 + 050	14.3	24.5	15.8	2326
VII	172 + 050	175 + 880	15.2	15.1	9.6	1591

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

7.2.3 Tráfico

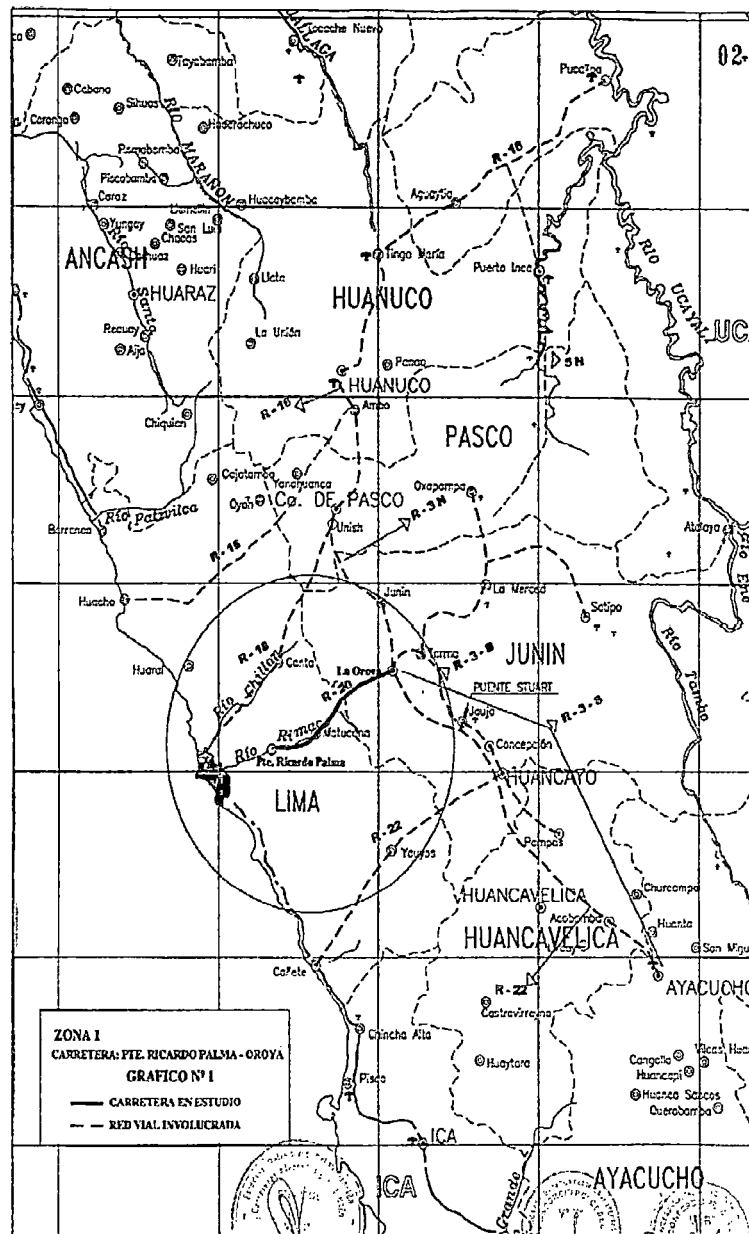
El estudio de tráfico proporcionó información básica que permitió determinar los indicadores de tráfico y repetición de ejes equivalentes para la evaluación económica y diseño del pavimento.

La carretera Puente Ricardo Palma – La Oroya pertenece a la ruta N° 20 del Sistema Vial Nacional. Se inicia en el Ovalo Santa Anita, continua por Matucana, San Mateo, los centros poblados mineros de Río Blanco, Casapalca y Morococha, llegando a La Oroya, donde prosigue por el norte hacia Tarma y el valle de

Chanchamayo y por el sur empalma con la ruta 3-S hacia Junín, Huancavelica y Ayacucho.

Existen rutas alternas tales como, la ruta N° 16 que se inicia en Huacho y llega a Ambo en el departamento de Huánuco, la ruta 18 que parte de Lima y pasa por Canta luego empalma con la carretera longitudinal de la sierra norte en Unish, y la ruta N° 22 que conecta Cañete con la ciudad de Huancayo, y puede observarse en la figura siguiente.

Figura 7-1 Mapa de localización vial.



Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

En la carretera Lima – La Oroya se concentra todos los viajes de larga distancia de vehículos de pasajeros (ómnibus) provenientes de los departamentos Junín, Pasco y Huancavelica, como también los viajes de camiones pequeños, medianos y de gran tonelaje que transportan mineral desde las ciudades de: La Oroya, Cerro de Pasco y Huancavelica, además de productos agropecuarios y madera del valle de Chanchamayo, Tarma, Satipo y Pucallpa. Los viajes de corta distancia, comparativamente, son menores y se realizan en camionetas rurales y automóvil colectivo.

El Tramo 4, materia del presente estudio, forma parte de esta carretera, se inicia en San Mateo, luego pasa por Morococha y finaliza en la ciudad de La Oroya.

7.2.3.1 Volumen de Tráfico

En la carretera no hay vías afluentes por las que ingrese o salga volumen significativo de vehículos que determinen nodos, pero si hay localidades importantes como Cocachacra, San Mateo, Matucana, Morococha, Casapalca, Río Blanco y otras, de las cuales se ha considerado como nodos: Matucana en razón que existe servicio público de transporte de pasajeros en camionetas rurales y micros entre esta localidad y Chosica; Morococha porque existe movimiento de vehículos de carga y pasajeros entre La Oroya y Morococha. Por lo que se tiene cuatro tramos homogéneos para el estudio de tráfico, el primero comprendido entre el Puente Ricardo Palma – Cocachacra - Matucana, el segundo Matucana – San Mateo, el tercero San Mateo – Morococha y el cuarto Morococha – La Oroya; para efectos de la presente tesis solo se considerarán los dos últimos.

Se instalaron dos estaciones de control de tráfico, cuyas ubicaciones y períodos de medición se detallan a continuación.

Cuadro 7-16 Estaciones de medición de tráfico.

Estación	Tramo	Progresiva	Período	Referencia
C – 05	San Mateo - Morococha	98 + 000	Del 3 al 9 de mayo del 2000.	Pasando la Fábrica San Mateo
C – 06	Morococha - La Oroya	166 + 250	Del 3 al 9 de mayo del 2000	Puente Yauli.

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

i) Factor de corrección estacional (FCE):

Además de las variaciones horarias y diarias, el volumen de tráfico varía según las estaciones climatológicas del año, por lo tanto fue necesario efectuar una corrección para eliminar las fluctuaciones del volumen de tráfico durante el año. Para expandir la muestra tomada se utilizaron los factores de corrección estacional. En este caso se ha dispuesto de series históricas de volumen de tráfico correspondiente al mes de mayo de los registros de cobro de peaje Corcona, los cuales se muestran a continuación.

Cuadro 7-17 Factores de corrección estacional.

Año	Índice Medio	Vehículos Ligeros	Vehículos Pesados					Total
			2 ejes	3 ejes	4 ejes	5 ejes	6 ejes	
1999	Diario - Mayo	1444	1368	511	94	198	230	2400
	Anual	1355	1202	437	83	195	233	2151
	FCE - Mayo	0.94	0.88	0.86	0.89	0.99	1.01	0.896
1998	Diario - Mayo	1270	1182	468	104	157	140	2052
	Anual	1193	1103	423	79	144	137	1886
	FCE - Mayo	0.94	0.93	0.90	0.76	0.92	0.98	0.919
1997	Diario - Mayo	1127	1127	459	72	137	95	1889
	Anual	1087	1039	411	71	132	98	1750
	FCE - Mayo	0.96	0.92	0.90	0.99	0.96	1.03	0.926
1996	Diario - Mayo	1038	1071	445	83	137	78	1814
	Anual	1021	1009	383	76	134	78	1681
	FCE - Mayo	0.98	0.94	0.86	0.91	0.98	1.01	0.927
1995	Diario - Mayo	974	1055	442	74	114	14	1699
	Anual	941	1000	376	76	118	15	1585
	FCE - Mayo	0.966	0.95	0.85	1.02	1.03	1.05	0.932
1994	Diario - Mayo	797	1073	347	54	81	4	1560
	Anual	778	938	318	58	90	7	1411
	FCE - Mayo	0.98	0.87	0.91	1.08	1.11	1.64	0.905

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Los valores adoptados corresponden al año 1995, no se han considerado los años recientes por haber estado afectados por el Fenómeno del Niño.

Para el cálculo se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$FCE \text{ mayo} = IMDA / IMD$$

Donde:

IMDA : Índice medio diario anual.

IMD : índice medio diario del mes de mayo.

Por lo tanto, los valores de FCE serán los siguientes:

$$FCE \text{ vehículos ligeros} = 941 / 974 = 0.966$$

$$FCE \text{ vehículos pesados} = 585/1699 = 0.932$$

ii) Estimación del tráfico actual:

El cálculo del Índice medio diario se ha efectuado con la siguiente fórmula:

$$IMDA = \frac{(V_L + V_M + V_{MI} + V_J + V_V + V_S + V_D)}{7} \times FCE$$

Donde:

VL, VM, VMI, VJ, VV, VS, VD son los volúmenes de tráfico de los días lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo respectivamente.

FCE es el factor de corrección estacional.

De lo anterior, se obtuvo los IMDA por tramo y tipo de vehículos y se muestran a continuación.

Cuadro 7-18 IMDA por tramo homogéneo.

Tipo de Vehículo	Tramo	
	San Mateo – Morococha	Morococha – La Oroya
Autos	573	607
Pick Up	245	302
Camionetas Rurales	103	160
Micros	8	49
Bus 2 Ejes	247	252
Bus 3 Ejes	120	119
Camión 2 Ejes Chico	380	386

Tipo de Vehículo	Tramo	
	San Mateo – Morococha	Morococha – La Oroya
Camión 2 Ejes Grande	365	381
Camión 3 Ejes	330	345
Camión 4 Ejes	24	29
2S2	44	49
2S3	108	113
3S2	70	76
3S3	216	211
2T2	3	2
2T3	4	1
3T2	27	20
3T3	36	25
IMDA	2903	3127

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Del cuadro se deduce que el IMDA en el tramo San Mateo – Morococha es de 2,903 y está compuesto por 32% de vehículos ligeros, 13% de ómnibus y 55% de vehículos de transporte de carga, mientras que en el tramo Morococha – La Oroya el IMDA es de 3,127 y está compuesto por 36% de vehículos ligeros, 12% de ómnibus y 52% de camiones.

7.2.3.2 Proyección del Tráfico

El tráfico futuro generalmente está compuesto por el tráfico normal, el tráfico derivado o desviado y el tráfico inducido o generado.

i) Tráfico normal:

Este tipo de tráfico es el que ocurre actualmente en la carretera y tendrá un crecimiento vegetativo independientemente de las mejoras que se puedan efectuar en la carretera. Su crecimiento se verá influenciado por el mayor o menor desarrollo de las actividades económicas en el área de influencia del proyecto y por el crecimiento de la población.

Del resultado de las encuestas de origen y destino se ha determinado que el área de influencia del proyecto comprende los departamentos de Lima, Junín, Huancavelica, Huanuco, Pasco y Ucayali. Por tanto las tasas de crecimiento del

tráfico estarán en función a las variables socio económicas de estos departamentos, tales como: PBI, población, y PBI per cápita.

Para calcular la tasa de crecimiento del PBI en la zona de influencia de la carretera se ha ponderado las tasas de crecimiento departamental en función a su participación en la generación de viajes de vehículos de carga basándose en las encuestas de origen y destino. Las tasas de crecimiento del PBI calculadas para estos períodos son las siguientes:

Cuadro 7-19 Tasa de crecimiento del PBI del área de influencia.

Período	Tasa de Crecimiento (%)
1976 – 1987	1.0
1990 - 1996	5.7
Promedio	3.4

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Como puede apreciarse las tasas de crecimiento del PBI son mayores en el período 1990-96 que en el período 1976-87, por lo que se ha definido dos períodos de crecimiento; En el primer período, que comprende desde el año base hasta el año 10 de operación de la carretera, se ha adoptado una tasa de crecimiento de 5.7% igual a la del período 1990-96 y que está de acuerdo con las metas del gobierno que la economía tendrá un crecimiento sostenido. Mientras que para el segundo período que comprende del año 11 al año 20 de operación se ha adoptado las tasas de 3.4% de crecimiento del PBI. Por lo tanto, las tasas de crecimiento adoptadas son las siguientes:

Período 2000-2011 : 5.7%

Período 2012-2021 : 3.4%

La población de los departamentos involucrados se ha calculado en base a las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), para los años 2000, 2005, 2010 y 2015; para los años intermedios se ha calculado mediante interpolación. Para determinar las tasas de crecimiento de la población en el área de influencia del proyecto se ha analizado la participación de la población en los viajes en vehículos de pasajeros sobre la base de los resultados de la encuesta de origen y destino de pasajeros y se ha ponderado las tasas de crecimiento de la población de cada departamento en función de la generación de viajes respectivo.

Para los fines del proyecto se ha calculado el PBI Per Cápita dividiendo el PBI entre la población proyectada.

Por lo tanto, las tasas de crecimiento de las variables socioeconómicas se indican a continuación.

Cuadro 7-20 Tasas de crecimiento de las variables socioeconómicas.

Periodo	Población (%)	PBI Per Cápita	
		PBI = 5.7%	PBI = 3.4%
2000-2001	1.7%	4.0%	1.7
2001-2006	1.6%	4.0%	1.6
2006-2011	1.4%	4.2%	1.9
2011-2017	1.2%	4.4%	2.1
2017-2021	0.9%	4.7%	2.4

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Los valores de la elasticidad se han calculado para los vehículos de pasajeros y de carga. Los vehículos de pasajeros se han clasificado en ligeros y ómnibus. Los indicadores utilizados son: PBI y tráfico de camiones para el caso de vehículos de carga; mientras que para los vehículos de pasajeros los indicadores son PBI Per Cápita, tráfico de vehículos ligeros y ómnibus.

De lo anterior, se obtiene las elasticidades siguientes:

Cuadro 7-21 Elasticidades por períodos de diseño.

Tipo de Vehículo	Período	
	2000 - 2011	2012 - 2021
Vehículos ligeros	1.05	1.15
Ómnibus	0.84	0.91
Camiones	1.07	1.16

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

El tráfico futuro se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$T_n = T_o (1+r)^n$$

Donde:

- T_n : Tráfico en el año n.
- T_o : Tráfico actual o en el año base.
- r : Tasa de crecimiento.
- n : Año para el cual se calcula el volumen de tráfico.

Además, las tasas de crecimiento anual del volumen de tráfico se han calculado utilizando las siguientes fórmulas:

Para vehículos ligeros y ómnibus:

$$r_{VP} = (1 + r_{PBIh} * E_{vp}) (1+r_h) -1$$

Donde:

- r_{VP} : Tasa de crecimiento anual de tráfico de vehículos de pasajeros.
 r_{PBIh} : Tasa de crecimiento anual del PBI per cápita.
 r_h : Tasa de crecimiento anual de la población.
 E_{VP} : Elasticidad de la demanda de tráfico de vehículos de pasajeros con relación al PBI per cápita.

Para el caso de vehículos de carga:

$$r_{VC} = r_{PBI} \times E_{VC}$$

Donde:

- r_{VC} : Tasa de crecimiento anual de tráfico de vehículos de carga.
 r_{PBI} : Tasa de crecimiento anual del PBI.

Empleando las fórmulas se ha determinado las siguientes tasas de crecimiento de tráfico promedio anual:

Cuadro 7-22 Tasas de crecimiento por tipo de vehículo.

Periodos	Vehículos Ligeros	Ómnibus	Camiones
2000-2011	5.8%	5.1%	6.1%
2012-2021	3.6%	3.1%	3.9%

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

ii) Tráfico inducido o generado:

Este tipo de tráfico es aquel que resulta como consecuencia de la rehabilitación en la superficie de rodadura. Se le denomina inducido porque es un tráfico que no existiría si no se efectuaran las mejoras en la carretera.

Las mejoras a realizar en la carretera Puente Ricardo Palma – Oroya, disminuirán los costos de operación de los vehículos, sin embargo no influyen en el volumen de tráfico existente.

iii) Tráfico derivado o desviado:

Este tipo de tráfico es el que se presenta cuando la carretera mejorada atrae flujo vehicular de otras vías. En el caso de la carretera en estudio, se presenta este caso

pero de forma inversa, una vez que se materialice el proyecto de mejorar la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, va absorber parte del tráfico que actualmente utiliza la carretera Puente Ricardo Palma – La Oroya.

La carretera Lima – Canta – Unish, empalma con la carretera La Oroya – Cerro de Pasco en la localidad de Unish, pudiendo atraer viajes de vehículos provenientes de Cerro de Pasco, Huánuco, Tingo María y Pucallpa con destino Lima. Esta carretera aliviaría las condiciones de congestión que se presentan durante algunas horas en la carretera Lima - La Oroya y en casos de cierre temporal, que se produce durante la temporada de lluvias por la caída de derrumbes.

El tráfico a ser absorbido por la carretera a Canta, en el primer año de apertura al tráfico se ha tomado directamente del Estudio de Factibilidad e Impacto Ambiental de la carretera Lima – Canta – Unish. Ahí indica que el tráfico desviado de la carretera Lima – La Oroya a la carretera Lima – Canta – Unish, en el año 2001, será igual a:

Cuadro 7-23 Tráfico desviado de la carretera Lima – La Oroya.

Tipo de Vehículo	IMDA
Autos	21
Pick up	30
Camioneta rural	0
Camión 2 ejes	73
Camión 3 ejes	70
Articulados	52
Total	315

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Estos volúmenes de tráfico se han proyectado para el año 2003, fecha en que está previsto abrir el tráfico de la carretera Lima – Canta – Unish, además, sus tasas de crecimiento serán igual a las calculadas para el tramo San Mateo – La Oroya.

Por lo tanto, el tráfico total para el tramo San Mateo – Morococha es el que muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro 7-24 Tráfico total del tramo homogéneo San Mateo – Morococha.

Año	2000	2001	2002	2003	2011	2012	2021
Evolución	Año Base	Año de Construcción	Año de Operación				
			01	02	10	11	20
Tráfico Normal							
Autos	573	607	642	679	1066	1104	1518
Pick Up	245	259	274	290	455	472	649
C.R.	103	109	115	122	191	198	273
Micros	8	8	9	9	15	15	21
Bus 2 Ejes	247	259	273	286	426	440	579
Bus 3 Ejes	120	126	133	140	208	214	282
Camión 2 Ejes	745	791	839	890	1429	1485	2095
Camión 3 Ejes	330	351	372	395	634	659	929
Camiones 4 Ejes	24	25	27	29	46	48	67
Articulados	508	539	572	607	974	1012	1429
Sub - Total	2903	3074	3255	3446	5445	5647	7841
Traffic Derivado a la carretera Lima – Canta – Unish							
Autos				24	37	38	53
Pick Up				34	53	55	75
C.R.							
Micros							
Bus 2 Ejes				76	113	117	154
Bus 3 Ejes							
Camión 2 Ejes				82	132	137	193
Camión 3 Ejes				79	127	131	186
Camiones 4 Ejes							
Articulados				59	94	98	138
Sub - Total				353	556	576	798
Traffic Total sin Proyecto Lima – Canta – Unish							
Autos	573	607	642	679	1066	1104	1518

Año	2000	2001	2002	2003	2011	2012	2021
Evolución	Año Base	Año de Construcción	Año de Operación				
			01	02	10	11	20
Pick Up	245	259	274	290	455	472	649
C.R.	103	109	115	122	191	198	273
Micros	8	8	9	9	15	15	21
Bus 2 Ejes	247	259	273	286	426	440	579
Bus 3 Ejes	120	126	133	140	208	214	282
Camión 2 Ejes	745	791	839	890	1429	1485	2095
Camión 3 Ejes	330	351	372	395	634	659	929
Camiones 4 Ejes	24	25	27	29	46	48	67
Articulados	508	539	572	607	974	1012	1429
Total	2903	3074	3255	3446	5445	5647	7841
Trafico Total con Proyecto Lima – Canta – Unish							
Autos	573	607	642	655	1029	1066	1465
Pick Up	245	259	274	257	403	417	574
C.R.	103	109	115	122	191	198	273
Micros	8	8	9	9	15	15	21
Bus 2 Ejes	247	259	273	210	313	323	425
Bus 3 Ejes	120	126	133	140	208	214	282
Camión 2 Ejes	745	791	839	808	1297	1348	1902
Camión 3 Ejes	330	351	372	316	507	527	744
Camiones 4 Ejes	24	25	27	29	46	48	67
Articulados	508	539	572	548	880	915	1291
Total	2903	3074	3255	3093	4889	5071	7043

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Mientras que el tráfico total para el tramo Morococha – La Oroya es el que muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro 7-25 Tráfico total del tramo homogéneo Morococha – La Oroya.

Año	2000	2001	2002	2003	2011	2012	2021
Evolución	Año Base	Año de Construcción	Año de Operación				
			01	02	10	11	20
Tráfico Normal							
Autos	607	642	680	719	1129	1169	1608
Pick Up	302	320	338	358	562	582	800
C.R.	160	169	179	189	297	308	424
Micros	49	52	55	58	91	94	129
Bus 2 Ejes	253	265	279	293	437	450	592
Bus 3 Ejes	119	126	132	139	206	213	280
Camión 2 Ejes	767	814	863	916	1471	1528	2156
Camión 3 Ejes	345	366	388	412	661	687	969
Camiones 4 Ejes	30	31	33	35	57	59	83
Articulados	496	526	558	592	951	988	1395
Sub - Total	3127	3311	3505	3711	5861	6079	8436
Traffic Derivado a la carretera Lima – Canta – Unish							
Autos				24	37	38	53
Pick Up				34	53	55	75
C.R.							
Micros							
Bus 2 Ejes				76	113	117	154
Bus 3 Ejes							
Camión 2 Ejes				82	132	137	193
Camión 3 Ejes				79	127	131	186
Camiones 4 Ejes							
Articulados				59	94	98	138
Sub - Total				353	556	576	798
Traffic Total sin Proyecto Lima – Canta – Unish							
Autos	607	642	680	719	1129	1169	1608

Año	2000	2001	2002	2003	2011	2012	2021
Evolución	Año Base	Año de Construcción	Año de Operación				
			01	02	10	11	20
Pick Up	302	320	338	358	562	582	800
C.R.	160	169	179	189	297	308	424
Micros	49	52	55	58	91	94	129
Bus 2 Ejes	253	265	279	293	437	450	592
Bus 3 Ejes	119	126	132	139	206	213	280
Camión 2 Ejes	767	814	863	916	1471	1528	2156
Camión 3 Ejes	345	366	388	412	661	687	969
Camiones 4 Ejes	30	31	33	35	57	59	83
Articulados	496	526	558	592	951	988	1395
Total	3127	3311	3505	3711	5861	6079	8436
Trafico Total con Proyecto Lima – Canta – Unish							
Autos	607	642	680	695	1092	1131	1555
Pick Up	302	320	338	324	509	528	725
C.R.	160	169	179	189	297	308	424
Micros	49	52	55	58	91	94	129
Bus 2 Ejes	253	265	279	217	323	333	438
Bus 3 Ejes	119	126	132	139	206	213	280
Camión 2 Ejes	767	814	863	834	1339	1391	1963
Camión 3 Ejes	345	366	388	333	534	555	783
Camiones 4 Ejes	30	31	33	35	57	59	83
Articulados	496	526	558	534	857	891	1257
Total	3127	3311	3505	3358	5306	5503	7638

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

7.2.3.3 Cargas por Eje

A efectos de calcular el efecto destructivo de las cargas transmitidas al pavimento por los vehículos pesados que circulan por la carretera, se llevó a cabo un censo de cargas de pesos por eje. Paralelamente se efectuó la medición de la presión de inflado de las llantas. El censo se llevó a cabo cerca de la Unidad de Peaje de

Corcona durante 24 horas repartidas entre los días 4 y 5 de Mayo, el día 4 en la dirección Pte. Ricardo Palma-Oroya y el día 5 en la dirección Oroya-Pte. Ricardo Palma.

Los factores destructivos del pavimento o ejes equivalentes a 8.2 toneladas se han determinado para un número estructural (SN) de 4 y una serviciabilidad final de 2.5. Los factores destructivos determinados son válidos para presiones de inflado de llantas de 90 psi, siendo por lo tanto necesario efectuar una corrección para aquellos ejes que sobrepasan este valor. Cabe resaltar que el impacto de las presiones de inflado de llantas está en relación al espesor del pavimento. Cuanto mayor es este valor, menor el impacto de las presiones de inflado de las llantas. Los cálculos se han realizado de la siguiente manera:

$$FD*PLL = FD * FPLL$$

Donde:

- FD*PLL : Es el factor destructivo corregido por presión de las llantas.
FD : Es el factor destructivo.
FPLL : Es el factor de corrección por presión de llantas.

El resumen de resultados se muestra a continuación.

Cuadro 7-26 Factores destructivos por tipo de vehículo.

Dirección	Tipo de Vehículo					
	Bus		Camión			
	2 Ejes	3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 Ejes	Articulados
San Mateo – La Oroya	2.56	1.22	0.46	1.33	1.97	1.55
La Oroya – San Mateo	2.63	1.31	1.04	2.11	2.05	3.83

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

7.2.3.4 Ejes Equivalentes a 8.2 Toneladas Acumulados (EAL)

Con los factores destructivos del pavimento corregidos por presión de inflado de llantas, el IMDA y las tasas de crecimiento del tráfico se ha calculado la cantidad acumulada de ejes equivalentes a 8.2 toneladas, efectuándose para dos periodos:

- El primer período comprende el año de puesta en marcha del proyecto (2002) hasta el año 10 de vida útil (2011).
- El segundo período abarca del año 11 (2012) al año 20 (2021).

Para el cálculo de los ejes acumulados equivalentes a 8.2 toneladas se ha usado la fórmula siguiente:

$$EALS = (365/2) * \sum (IMDA_i * FDP * FPLL_i) * ((1+r_i)^n - 1) / r_i$$

Donde:

EALS : Es la cantidad acumulada de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 toneladas.

IMDA_i : Es el volumen promedio de tráfico para el tipo de vehículo i.

FD*FPLL_i : Es el factor destructivo corregido por presión de inflado de llantas para el tipo de vehículo i.

r_i : Es la tasa de crecimiento del vehículo i.

n : Es el período para el cual se está calculando los EALS.

El resumen de resultados se muestra a continuación.

Cuadro 7-27 Ejes equivalentes por período para cada tramo homogéneo.

Tramo	Dirección	EALS			
		2002	2002 - 2011	2012 - 2021	2002 - 2021
San Mateo – Morococha	Morococha	490,045	6'394,376	9'962,627	16'357,003
	San Mateo	875,047	11'489,533	18'093,586	29'583,119
Morococha – La Oroya	La Oroya	497,247	6'488,024	10'107,679	16'595,703
	Morococha	881,615	11'574,760	18'225,084	29'799,844

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

7.3 CONTROL DE CALIDAD EN LABORATORIO

En el laboratorio de la Oficina de Apoyo Tecnológico del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (OAT – MTC), se realizaron ensayos de control de calidad, para conocer las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los materiales que participarán en la mezcla asfáltica reciclada. A esta mezcla también se le determinó sus propiedades físicas y mecánicas, para que conforme a los resultados que se obtengan, validar la hipótesis planteada en el presente tema de investigación.

7.3.1 Material RAP

Las muestras de material RAP provienen del fresado de 5 cm. de carpeta asfáltica, del tramo comprendido entre las progresivas Km. 135 + 000 y Km. 172 + 000. Para conocer las propiedades físicas y mecánicas del RAP y sus componentes se realizaron ensayos en laboratorio descritos en los cuadros 5-1 y 5-6. Los resultados obtenidos fueron contrastados con las especificaciones técnicas establecidas en los cuadros 5-2 y 5-3, y se obtuvo las tablas de resultados siguientes.

Tabla 7-1 Propiedades del RAP.

Mallas		Descripción	RAP 3/4" - 3/8"		RAP 3/8" - N° 4		RAP Pasa N° 4		RAP Global		
Serie Americana	Abertura (mm.)		Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)	
3"	76.200	NTP 400.012 (01)									
2 1/2"	63.500										
2"	50.800										
1 1/2"	38.100										
1"	25.400			100						100	
3/4"	19.050			34	66					11	89
1/2"	12.700			27	39					9	80
3/8"	9.525			23	16		100			8	72
1/4"	6.350			14	2	70	30			28	44
N° 4	4.760			2	-	30	-		100	11	33
N° 6	3.360							22	78	7	26
N° 8	2.380							20	58	7	19
N° 10	2.000							8	50	2	17
N° 16	1.190							20	30	7	10
N° 20	0.840							9	21	3	7
N° 30	0.590							7	14	2	5
N° 40	0.426							5	9	2	3
N° 50	0.297							4	5	1	2
N° 80	0.177							3	2	1	1
N° 100	0.149							1	1	1	-
N° 200	0.074						1	-			
Platillo	-	NTP 400.019 (02)									
Peso Unitario Suelto (kg./m3)		NTP 400.017 (99)	1166								
Peso Unitario Varillado (kg./m3)		NTP 400.017 (99)	1305								
P. Esp. Bulk (Base Seca) (gr./cm3)		NTP 400.021 (02)	2.001								

Mallas		Descripción	RAP 3/4" - 3/8"		RAP 3/8" - Nº 4		RAP Pasa Nº 4		RAP Global	
Serie Americana	Abertura (mm.)	Norma de Ensayo	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)
P. Esp. Bulk (Base Saturada) (gr./cm3)		NTP 400.021 (02)	2.031							
P. Esp. Aparente (Base Seca) (gr./cm3)		NTP 400.021 (02)	2.064							
Absorción (%)		NTP 400.021 (02)	1.5							

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-2 Asfalto recuperado del RAP (M-1 al M-3) – Método Abson.

Mallas		Ubicación	Material de RAP Procedente de la Carretera Central Km. 135+000 - 172+000						
			Muestra	M-1		M-2		M-3	
Serie Americana	Abertura (mm.)	Norma de Ensayo	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)	
3"	76.200	NTP 400.012 (01)							
2 1/2"	63.500								
2"	50.800								
1 1/2"	38.100			100					
1"	25.400			2	98		100		100
3/4"	19.050			1	97	4	96	2	98
1/2"	12.700			7	90	7	89	11	87
3/8"	9.525			8	82	6	83	9	78
1/4"	6.350			13	69	12	71	13	65
Nº 4	4.760			6	63	8	63	7	58
Nº 6	3.360			9	54	9	54	8	50
Nº 8	2.380			8	46	7	47	6	44
Nº 10	2.000			3	43	3	44	3	41
Nº 16	1.190			9	34	9	35	8	33
Nº 20	0.840			4	30	5	30	4	29
Nº 30	0.590			4	26	5	25	4	25

Mallas		Ubicación	Material de RAP Procedente de la Carretera Central Km. 135+000 - 172+000					
			Muestra	M-1		M-2		M-3
Serie Americana	Abertura (mm.)	Norma de Ensayo	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)
Nº 40	0.426		4	22	4	21	4	21
Nº 50	0.297		4	18	4	17	4	17
Nº 80	0.177		4	14	4	13	4	13
Nº 100	0.149		1	13	1	12	1	12
Nº 200	0.074		3	10	3	9	3	9
Platillo	-	NTP 400.019 (02)	10	-	9	-	9	-
Contenido de Asfalto (%)		ASTM D-2172 (95)	5.4		5.2		5.3	

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-3 Asfalto recuperado del RAP (M-4 al M-6) – Método Abson.

Mallas		Ubicación	Material de RAP Procedente de la Carretera Central Km. 135+000 - 172+000					
			Muestra	M-4		M-5		M-6
Serie Americana	Abertura (mm.)	Norma de Ensayo	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)
3"	76.200	NTP 400.012 (01)						
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400			100		100		100
3/4"	19.050		7	93	4	96	2	98
1/2"	12.700		12	81	13	83	8	90
3/8"	9.525		5	76	6	77	8	82
1/4"	6.350		10	66	10	67	10	72
Nº 4	4.760		6	60	7	60	9	63
Nº 6	3.360		9	51	8	52	9	54

Mallas		Ubicación	Material de RAP Procedente de la Carretera Central Km. 135+000 - 172+000					
			Muestra	M-4		M-5		M-6
Serie Americana	Abertura (mm.)	Norma de Ensayo	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)
Nº 8	2.380		6	45	6	46	7	47
Nº 10	2.000		3	42	3	43	3	44
Nº 16	1.190		9	33	8	35	9	35
Nº 20	0.840		4	29	4	31	4	31
Nº 30	0.590		5	24	5	26	5	26
Nº 40	0.426		4	20	5	21	4	22
Nº 50	0.297		4	16	4	17	4	18
Nº 80	0.177		4	12	4	13	4	14
Nº 100	0.149		1	11	1	12	1	13
Nº 200	0.074		3	8	3	9	3	10
Platillo	-	NTP 400.019 (02)	8	-	9	-	10	-
Contenido de Asfalto (%)		ASTM D-2172 (95)	4.8		4.8		5.3	

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-4 Asfalto recuperado del RAP (M-7 al M-9) – Método Abson.

Mallas		Ubicación	Material de RAP Procedente de la Carretera Central Km. 135+000 - 172+000					
			Muestra	M-7		M-8		M-9
Serie Americana	Abertura (mm.)	Norma de Ensayo	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)
3"	76.200	NTP 400.012 (01)						
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400			100		100		100
3/4"	19.050			3	97	4	96	3

Mallas		Ubicación	Material de RAP Procedente de la Carretera Central Km. 135+000 - 172+000					
			Muestra	M-7		M-8		M-9
Serie Americana	Abertura (mm.)	Norma de Ensayo	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)
1/2"	12.700		12	85	11	85	9	88
3/8"	9.525		9	76	7	78	6	82
1/4"	6.350		10	66	12	66	13	69
Nº 4	4.760		7	59	7	59	6	63
Nº 6	3.360		8	51	8	51	8	55
Nº 8	2.380		6	45	6	45	7	48
Nº 10	2.000		3	42	3	42	3	45
Nº 16	1.190		8	34	8	34	9	36
Nº 20	0.840		4	30	4	30	5	31
Nº 30	0.590		4	26	4	26	5	26
Nº 40	0.426		4	22	4	22	4	22
Nº 50	0.297		4	18	4	18	4	18
Nº 80	0.177		4	14	4	14	4	14
Nº 100	0.149		1	13	1	13	1	13
Nº 200	0.074		3	10	3	10	3	10
Platillo	-	NTP 400.019 (02)	10	-	10	-	10	-
Contenido de Asfalto (%)		ASTM D-2172 (95)	5.0		5.0		5.2	

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-5 Calidad del cemento asfáltico recuperado.

Realizado a la Muestra de Asfalto Recuperado	Norma	Resultado	Parámetros de Calidad		Evaluación
			Mín.	Máx.	
Penetración 25°C, 100gr, 5s, 0.1mm.	ASTM D-5/97	64	120	150	No cumple
Ductilidad, 25°C, 5cm./min (cm.)	ASTM D-113/99	+100	100	—	Si cumple
Peso Específico, 15.6/15.6 °C (kg./m3)	ASTM D-70/97	1032.3	1000.0	1030.0	No cumple

Realizado a la Muestra de Asfalto Recuperado	Norma	Resultado	Parámetros de Calidad		Evaluación
			Mín.	Máx.	
Punto de Ablandamiento, °C	ASTM D-36/95	54.1	35	45	No cumple
Solubilidad en Tricloroetileno, (%)	ASTM D-2042/97	99.92	99	—	Si cumple
Índice de Penetración	Referencia Francesa	+1.26	-1.0	+1.0	No cumple
Viscosidad Cinemática, cSt	ASTM D-2170/95	670.7	140	—	Si cumple
Viscosidad Absoluta, 60°C, 300MM Hg (P)	ASTM D-2171/94	25489.0	400	600	No cumple
Ensayo de la Mancha	AASHTO T-102	Positivo	Negativo		No cumple

Fuente: Análisis en laboratorio.

De la tabla 7-1 puede observarse que la gradación del agregado empleado en la mezcla asfáltica en caliente es cerrada, además de las tablas 7-2, 7-3 y 7-4 se observa que la cantidad de asfalto que contiene el material RAP en promedio es igual a 5.1% en peso del agregado. Además, de la tabla 7-5 se observa que el asfalto recuperado presenta características de endurecimiento y aumento en su viscosidad; esto debido al proceso de oxidación que este ha sufrido con el paso del tiempo y las condiciones atmosféricas a las que estuvo expuesto.

Los certificados de laboratorio que sustentan estos resultados, puede observarse en el Anexo B.

7.3.2 Emulsiones Asfálticas

Para fines del presente proyecto de investigación se solicitaron muestras de emulsiones asfálticas de rotura lenta a dos proveedores distintos, con el objetivo de poder determinar sus propiedades físicas y mecánicas, conforme lo indicado en el cuadro 5-4. Los resultados fueron contrastados con las especificaciones técnicas establecidas en el cuadro 5-5 y en base a ello se seleccionó la emulsión que participará en el diseño de mezcla. El resumen de resultados puede observarse en las tablas siguientes.

Tabla 7-6 Calidad de la emulsión catiónica (CSS – 1h).

Emulsión Asfáltica Catiónica de Rotura Lenta (CSS - 1h)	Norma	Resultado	Parámetros de Calidad		Evaluación
			Mín.	Máx.	
Viscosidad Saybolt Furol, 25°C (s)	ASTM D-244/00	35.1	20	100	Si cumple
Estabilidad al Almacenamiento, 24 horas (%)	ASTM D-244/00	0.4	—	1	Si cumple
Sedimentación, 05 días (%)	ASTM D-244/00	1.2	—	1	No cumple
Carga de Partículas	ASTM D-244/00	Positivo	Positivo		Si cumple
Contenido de Agua (%)	ASTM D-244/00	36.7	—	43	Si cumple
Residuo por Evaporación (%)	ASTM D-244/00	62.4	57	—	Si cumple
Residuo por Destilación (%)	ASTM D-244/00	62.9	57	—	Si cumple
Sieve Test (Tamiz N° 20) (%)	ASTM D-244/01	0.31	—	0.1	No cumple
Ensayos en el Residuo de la Destilación					
Penetración, 25°C, 100gr., 5 s, 0.1 mm.	ASTM D-5/97	75	40	90	Si cumple
Ductilidad, 25°C, 5 cm./min (%)	ASTM D-113/99	46	40	—	Si cumple
Solubilidad en Tricloroetileno (%)	ASTM D-2042/97	99.4	97.5	—	Si cumple

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-7 Calidad de la emulsión catiónica (CSS – 1h – SBR).

Emulsión Asfáltica Catiónica de Rotura Lenta con Polímeros (CSS - 1h - SBR)	Norma	Resultado	Parámetros de Calidad		Evaluación
			Mín.	Máx.	
Viscosidad Saybolt Furol, 25°C (s)	ASTM D-244/00	22.1	20	100	Si cumple
Estabilidad al Almacenamiento, 24 horas (%)	ASTM D-244/00	0.4	—	1	Si cumple
Sedimentación, 05 días (%)	ASTM D-244/00	0.8	—	1	Si cumple
Carga de Partículas	ASTM D-244/00	Positivo	Positivo		Si cumple
Contenido de Agua (%)	ASTM D-244/00	36.4	—	43	Si cumple
Residuo por Evaporación (%)	ASTM D-244/00	62.4	57	—	Si cumple
Residuo por Destilación (%)	ASTM D-244/00	63.7	57	—	Si cumple
Sieve Test (Tamiz N° 20) (%)	ASTM D-244/01	0.01	—	0.1	Si cumple

Emulsión Asfáltica Catiónica de Rotura Lenta con Polímeros (CSS - 1h - SBR)	Norma	Resultado	Parámetros de Calidad		Evaluación
			Mín.	Máx.	
Ensayos en el Residuo de la Destilación					
Penetración, 25°C, 100gr., 5 s, 0.1 mm.	ASTM D-5/97	66	40	90	Si cumple
Recuperación Elástica, 25°C, 5 cm./min (%)	ASTM D-113/99	55	50	—	Si cumple
Solubilidad en Tricloroetileno (%)	ASTM D-2042/97	99.88	97.5	—	Si cumple

Fuente: Análisis en laboratorio.

De las tablas 7-6 y 7-7 puede observarse, que la segunda muestra de emulsión cumple con todos los parámetros de control de calidad para emulsiones asfálticas cationicas, además contiene polímeros que incrementan su flexibilidad (para zonas con elevados gradientes térmicos) y su resistencia al ahuellamiento (originado por el paso de vehículos pesados). Debido a estas razones, se decidió que esta emulsión participe en la preparación de la mezcla asfáltica reciclada.

Los certificados de laboratorio que sustentan los resultados indicados, puede observarse en el Anexo B.

7.3.3 Material de Aporte

El material RAP extraído corresponde al tramo comprendido entre las progresivas Km. 135 + 000 y Km. 172 + 000, y en base al estudio de canteras realizado en el proyecto se concluyó que el material de aporte para ese sector debía provenir de la cantera Cut – Off; motivo por el cual se extrajeron muestras representativas de dicha cantera para determinar sus propiedades físicas y mecánicas que están indicadas en el cuadro 5-6. Los resultados fueron contrastados con las especificaciones técnicas establecidas en los cuadros 5-7 y 5-8, obteniéndose las tablas de resultados siguientes.

Tabla 7-8 Propiedades del agregado grueso.

Mallas		Descripción	Agregado de Aporte			
			3/4" - 3/8"		3/8" - Nº 4	
Serie Americana	Abertura (mm.)	Norma de Ensayo	Ret. (%)	Pasa (%)	Ret. (%)	Pasa (%)
1"	25.400	NTP 400.012 (01)		100		
3/4"	19.050		24	76		
1/2"	12.700		54	22		
3/8"	9.525		22	-		100
1/4"	6.350				46	54
Nº 4	4.760				52	2
Nº 6	3.360				2	-
Nº 8	2.380					
Nº 10	2.000					
Nº 16	1.190					
Nº 20	0.840					
Nº 30	0.590					
Nº 40	0.426					
Nº 50	0.297					
Nº 80	0.177					
Nº 100	0.149					
Nº 200	0.074					
Platillo	-	NTP 400.019 (02)				
Contenido de Humedad		NTP 339.127 (98)	0.4		0.4	
Peso Unitario Suelto (kg./m3)		NTP 400.017 (99)	1439		1449	
Peso Unitario Varillado (kg./m3)		NTP 400.017 (99)	1541		1480	
P. Esp. Bulk (Base Seca) (gr./cm3)		NTP 400.021 (02)	2.675		2.631	
P. Esp. Bulk (Base Saturada) (gr./cm3)		NTP 400.021 (02)	2.692		2.662	
P. Esp. Aparente (Base Seca) (gr./cm3)		NTP 400.021 (02)	2.721		2.714	
Absorción (%)		NTP 400.021 (02)	0.6		1.2	

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-9 Propiedades del agregado fino.

Mallas		Descripción	Agregado de Aporte Pasa N° 4	
Serie Americana	Abertura (mm.)		Ret. (%)	Pasa (%)
N° 4	4.760	NTP 400.012 (01)		100
N° 6	3.360		11	89
N° 8	2.380		11	78
N° 10	2.000		5	73
N° 16	1.190		16	57
N° 20	0.840		8	49
N° 30	0.590		7	42
N° 40	0.426		6	36
N° 50	0.297		5	31
N° 80	0.177		7	24
N° 100	0.149		2	22
N° 200	0.074		5	17
Platillo	-		NTP 400.019 (02)	17
Contenido de Humedad		NTP 339.127 (98)	0.5	
Límite Líquido (%)		NTP 339.129 (99)	18	
Límite Líquido material < malla N° 200 (%)		NTP 339.129 (99)	22	
Peso Unitario Suelto (kg./m3)		NTP 400.017 (99)	1633	
Peso Unitario Varillado (kg./m3)		NTP 400.017 (99)	1724	
P. Esp. Bulk (Base Seca) (gr./cm3)		NTP 400.022 (02)	2.595	
P. Esp. Bulk (Base Saturada) (gr./cm3)		NTP 400.022 (02)	2.636	
P. Esp. Aparente (Base Seca) (gr./cm3)		NTP 400.022 (02)	2.707	
Absorción (%)		NTP 400.022 (02)	1.6	
Impurezas Orgánicas		NTP 400.024 (99)	Aceptable	

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-10 Calidad del agregado grueso 3/4" – 3/8".

Agregado de Aporte 3/4" - 3/8"	Norma de Ensayo	Resultado	Parámetros de Calidad		Evaluación
			Mín.	Máx.	
Abrasión (%)	NTP 400.019 (02)	15	—	35	Si cumple
Durabilidad - SO ₄ Mg (%)	NTP 400.016 (99)	2.69	—	15	Si cumple
Partículas Chatas y Alargadas (%)	NTP 400.040 (99)	6	—	10	Si cumple
Caras de Fractura - 1 o más (%)	MTC E - 210 (00)	99	85	—	Si cumple
Caras de Fractura - 2 o más (%)	MTC E - 210 (00)	98	50	—	Si cumple
Sales Solubles (%)	MTC E - 219 (00)	0.0086	—	0.5	Si cumple
Adherencia (%)	AASHTO T - 182	+95	+95		Si cumple

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-11 Calidad del agregado grueso 3/8" – N° 4.

Agregado de Aporte 3/8" - N° 4	Norma de Ensayo	Resultado	Parámetros de Calidad		Evaluación
			Mín.	Máx.	
Abrasión (%)	NTP 400.019 (02)	16	—	35	Si cumple
Durabilidad - SO ₄ Mg (%)	NTP 400.016 (99)	6.1	—	15	Si cumple
Sales Solubles (%)	MTC E - 219 (00)	0.0105	—	0.5	Si cumple
Adherencia (%)	AASHTO T - 182	+95	+95		Si cumple

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-12 Calidad del agregado fino.

Agregado de Aporte Pasa N° 4	Norma de Ensayo	Resultado	Parámetros de Calidad		Evaluación
			Mín.	Máx.	
Índice Plástico material (%)	NTP 339.129 (99)	N.P	N.P		Si cumple
Índice Plástico material < malla N° 200 (%)	NTP 339.129 (99)	3	N.P		No cumple
Equivalente de Arena (%)	NTP 339.146 (00)	43	50	—	No cumple
Durabilidad - SO ₄ Mg (%)	NTP 400.016 (99)	5.7	—	15	Si cumple
Sales Solubles (%)	MTC E - 219 (00)	0.0474	—	0.5	Si cumple
Adherencia - Riedel Weber (%)	MTC E - 220 (00)	6 - 10	6 - 10		Si cumple

Fuente: Análisis en laboratorio.

De las tabla 7-9 se observa, que el agregado que pasa la malla N° 4 gran cantidad de finos que le dan plasticidad, por lo que se recomienda lavar dicho material.

Los certificados de laboratorio que sustentan estos resultados indicados, puede observarse en el Anexo B.

7.3.4 Mezcla Asfáltica Reciclada

El diseño de mezcla se realizará dentro de marco teórico descrito en el capítulo 4 del presente tema de investigación.

7.3.4.1 Gradación del Agregado Combinado

Por el clima de la zona donde está ubicado el tramo en estudio y por el tráfico que va soportar el pavimento respectivo, las mezclas diseñadas corresponden a concretos asfálticos de granulometría cerrada, y que por objeto del presente tema de investigación fueron elaborados a temperatura ambiente.

Los husos empleados fueron extraídos de los cuadros 4-4, 4-5 y 4-6, y se muestran a continuación.

Cuadro 7-28 Husos granulométricos propuestos en el diseño de mezcla.

Malla Serie Americana	Material Pasante (%)		
	D (I.A)	MDF - 01 (CR-2002)	02 (U.I)
3" (76.200 mm.)			
2 1/2" (63.500 mm.)			
2" (50.800 mm.)			
1 1/2" (38.100 mm.)	100		
1" (25.400 mm.)	80 - 100		100
3/4" (19.050 mm.)		100	90 - 100
1/2" (12.700 mm.)		80 - 95	
3/8" (9.525 mm.)			60 - 80
1/4" (6.350 mm.)			
N° 4 (4.760 mm.)	25 - 85	50 - 65	35 - 65
N° 6 (3.360 mm.)			
N° 8 (2.380 mm.)		35 - 50	20 - 50
N° 10 (2.000 mm.)			

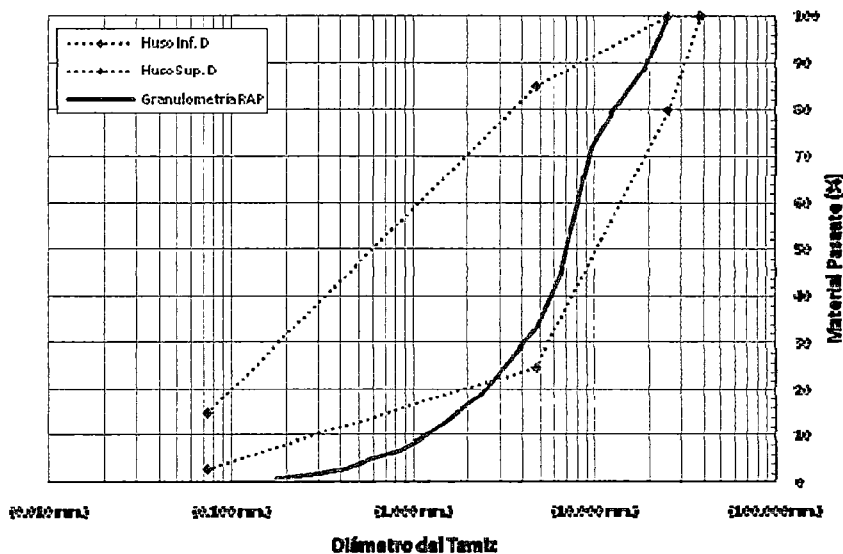
Malla Serie Americana	Material Pasante (%)		
	D (I.A)	MDF - 01 (CR-2002)	02 (U.I)
Nº 16 (1.190 mm.)			
Nº 20 (0.840 mm.)			
Nº 30 (0.590 mm.)			
Nº 40 (0.426 mm.)			
Nº 50 (0.297 mm.)		13 - 23	3 - 20
Nº 80 (0.177 mm.)			
Nº 100 (0.149 mm.)			
Nº 200 (0.074 mm.)	3 - 15	3 - 8	2 - 15

I.A: Instituto del Asfalto (MS-21).
CR-2002: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Caminos de Costa Rica.
U.I: Universidad de Illinois.

Fuente: Elaboración propia.

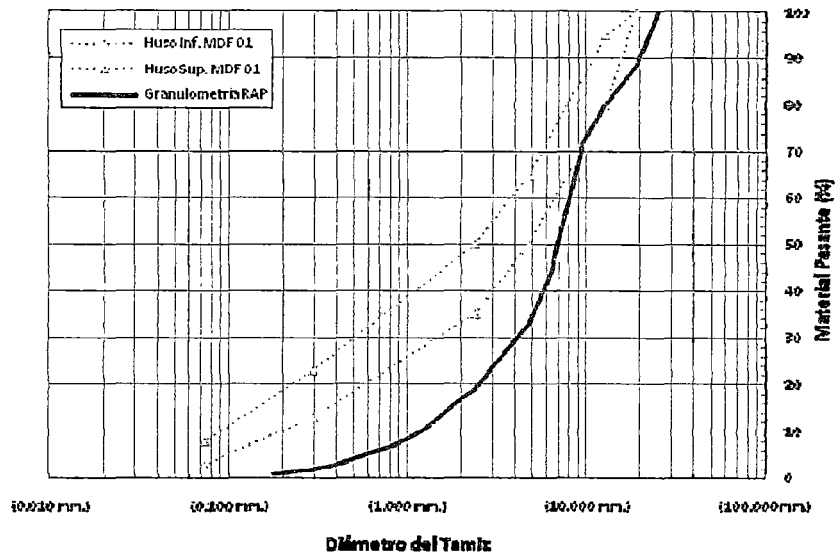
La granulometría del RAP (ver tabla 7-1) fue verificada con los husos granulométricos indicados en el cuadro 7-28, obteniéndose los gráficos siguientes.

Figura 7-2 Verificación de la granulometría del RAP – I.A.



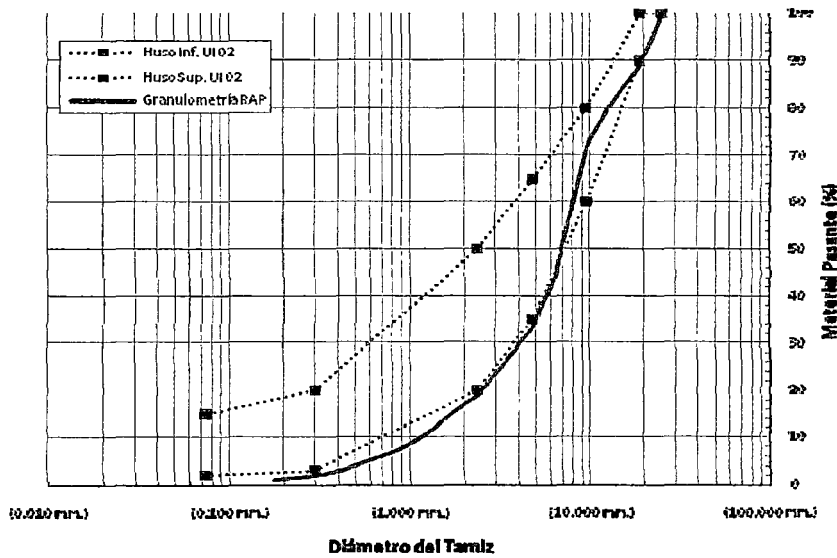
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-3 Verificación de la granulometría del RAP – CR-2002.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-4 Verificación de la granulometría del RAP – U.I.



Fuente: Elaboración propia.

De los figuras 7-2, 7-3 y 7-4 puede observarse que el material de RAP no cumple con ninguno de los husos granulométricos, por lo que es necesaria la adición de agregados de aporte que corrijan la granulometría del RAP de manera que pueda cumplir con la mayor parte de los husos granulométricos indicados anteriormente. Luego de realizar la mezcla de suelos se obtuvieron dos tipos de mezcla:

- Mezcla tipo I: Conformada por 70% de material RAP y 30% de agregado de aporte, siendo sus participaciones y granulometría final de la mezcla, la que se muestra en la tabla siguiente.

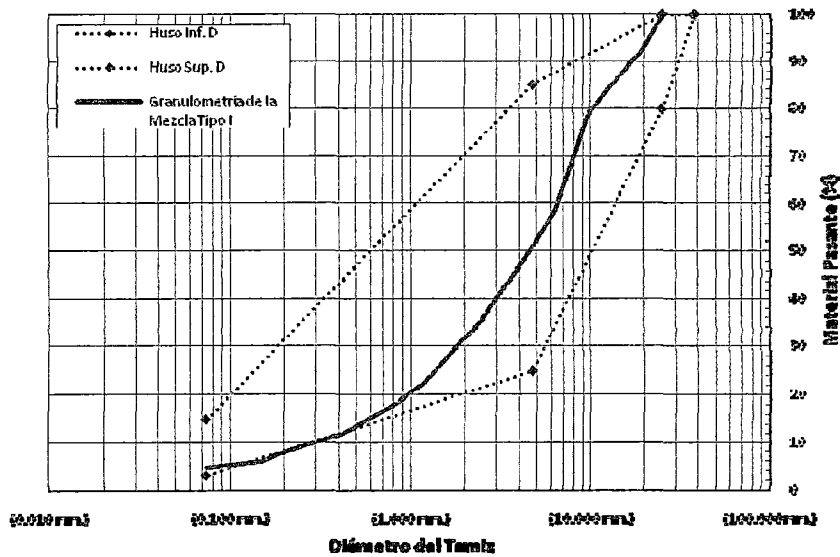
Tabla 7-13 Composición granulométrica – Mezcla tipo I.

Malla Serie Americana	Material Pasante (%)					Mezcla Tipo I
	RAP	Grava		Arena (Pasa Nº 4)		
		3/4"	3/8"			
	70%	2%	0.4%	27.6%		
3" (76.200 mm.)						
2 1/2" (63.500 mm.)						
2" (50.800 mm.)						
1 1/2" (38.100 mm.)						
1" (25.400 mm.)	100	100	100	100		100
3/4" (19.050 mm.)	89	76	100	100		92
1/2" (12.700 mm.)	80	22	100	100		84
3/8" (9.525 mm.)	72		100	100		78
1/4" (6.350 mm.)	44		54	100		59
Nº 4 (4.760 mm.)	33		2	100		51
Nº 6 (3.360 mm.)	26			89		43
Nº 8 (2.380 mm.)	19			78		35
Nº 10 (2.000 mm.)	17			73		32
Nº 16 (1.190 mm.)	10			57		23
Nº 20 (0.840 mm.)	7			49		18
Nº 30 (0.590 mm.)	5			42		15
Nº 40 (0.426 mm.)	3			36		12
Nº 50 (0.297 mm.)	2			31		10
Nº 80 (0.177 mm.)	1			24		7
Nº 100 (0.149 mm.)				22		6
Nº 200 (0.074 mm.)				17		5

Fuente: Elaboración propia.

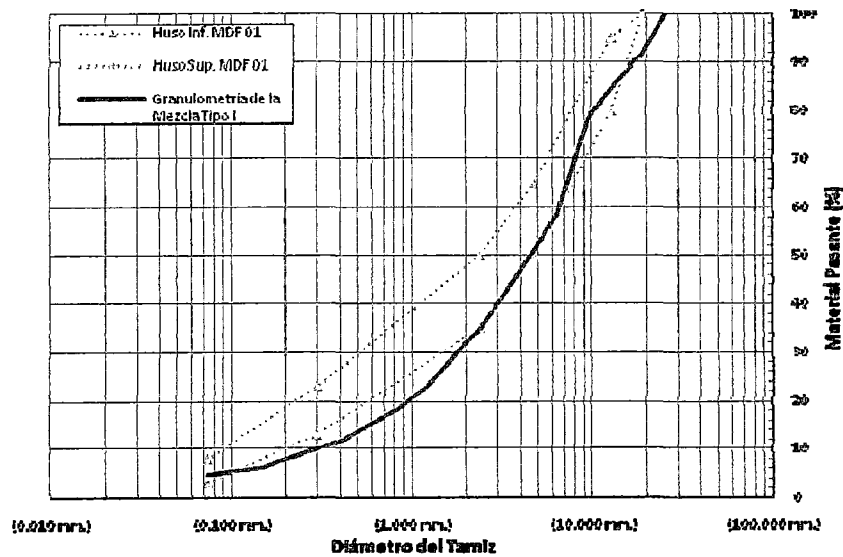
Verificando la granulometría de la mezcla con los husos granulométricos se obtienen los gráficos siguientes:

Figura 7-5 Verificación de la granulometría de la mezcla tipo I – I.A.



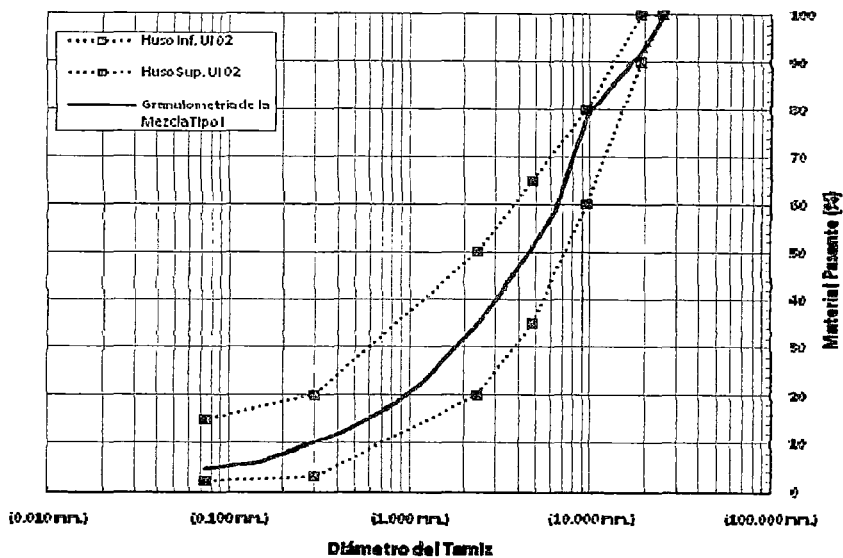
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-6 Verificación de la granulometría de la mezcla tipo I – CR-2002.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-7 Verificación de la granulometría de la mezcla tipo I – U.I.



Fuente: Elaboración propia.

- Mezcla tipo II: Conformada por 50% de material RAP y 50% de agregado de aporte, siendo sus participaciones y granulometría final de la mezcla, la que se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 7-14 Composición granulométrica – Mezcla tipo II.

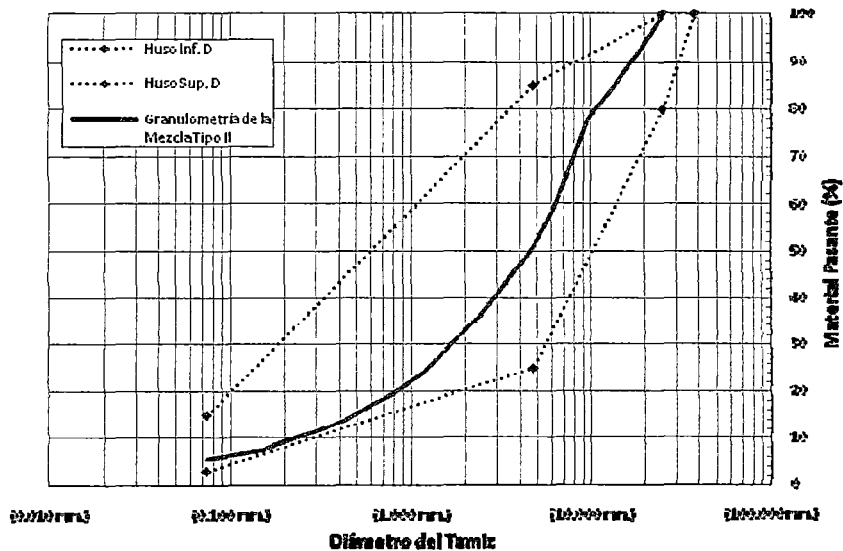
Malla Serie Americana	Material Pasante (%)					Mezcla Tipo II
	RAP	Grava		Arena (Pasa N° 4)		
		3/4"	3/8"			
		50%	8%	8%		
3" (76.200 mm.)						
2 1/2" (63.500 mm.)						
2" (50.800 mm.)						
1 1/2" (38.100 mm.)						
1" (25.400 mm.)	100	100	100	100		100
3/4" (19.050 mm.)	89	76	100	100		93
1/2" (12.700 mm.)	80	22	100	100		84
3/8" (9.525 mm.)	72		100	100		78
1/4" (6.350 mm.)	44		54	100		60
N° 4 (4.760 mm.)	33		2	100		51

Malla Serie Americana	Material Pasante (%)				
	RAP	Grava		Arena (Pasa Nº 4)	Mezcla Tipo II
		3/4"	3/8"		
	50%	8%	8%	34%	
Nº 6 (3.360 mm.)	26			89	43
Nº 8 (2.380 mm.)	19			78	36
Nº 10 (2.000 mm.)	17			73	33
Nº 16 (1.190 mm.)	10			57	24
Nº 20 (0.840 mm.)	7			49	20
Nº 30 (0.590 mm.)	5			42	17
Nº 40 (0.426 mm.)	3			36	14
Nº 50 (0.297 mm.)	2			31	12
Nº 80 (0.177 mm.)	1			24	9
Nº 100 (0.149 mm.)				22	7
Nº 200 (0.074 mm.)				17	6

Fuente: Elaboración propia.

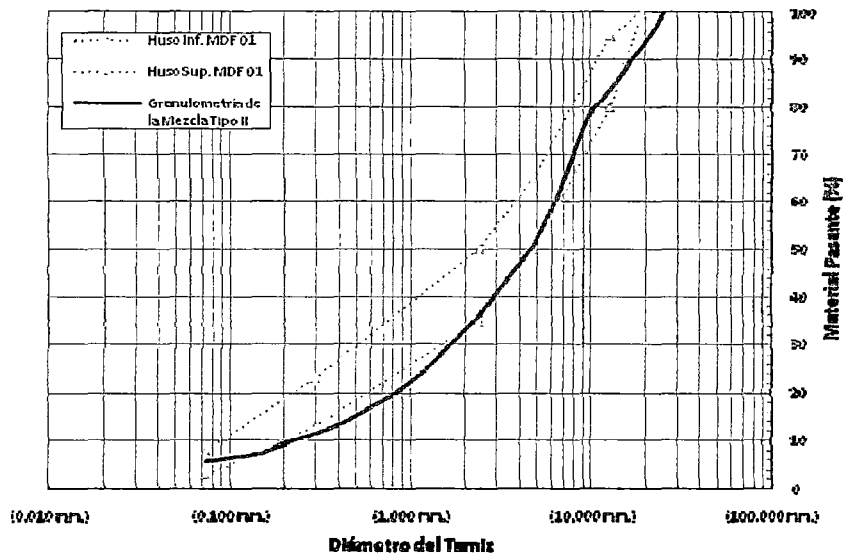
Verificando la granulometría de la mezcla con los husos granulométricos se obtienen los gráficos siguientes:

Figura 7-8 Verificación de la granulometría de la mezcla tipo II – I.A.



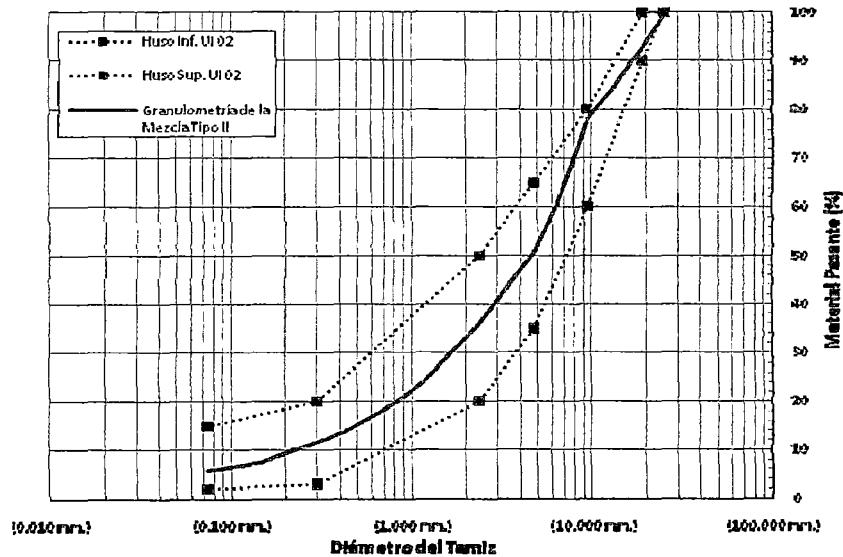
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-9 Verificación de la granulometría de la mezcla tipo II – CR-2002.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-10 Verificación de la granulometría de la mezcla tipo II – U.I.



Fuente: Elaboración propia.

De las figuras 7-8, 7-9 y 7-10 puede observarse que los agregados combinados compuestos por material RAP y agregado de aporte cumplen con la mayor de los husos granulométricos propuestos y en forma especial con el huso establecido por la Universidad de Illinois; motivo por el cual el método de diseño de mezcla a emplear será el establecido por la Universidad de Illinois.

Los certificados de laboratorio que sustentan estos resultados indicados, puede observarse en el Anexo B.

7.3.4.2 Selección del Tipo de Emulsión Asfáltica

Siguiendo las recomendaciones indicadas en el cuadro 4-7, el tipo de emulsión a emplear será una catiónica de rotura lenta de gran consistencia (CSS-1h); pero por las condiciones atmosféricas en las que estará expuesta la mezcla asfáltica y por los resultados obtenidos en el ítem 7.3.2, la emulsión empleada corresponde a una catiónica de rotura lenta de gran consistencia y modificada con polímeros (CSS-1h-SBR).

7.3.4.3 Determinación del Contenido de Asfalto Teórico Tentativo

Se emplearán las ecuaciones indicadas en el ítem 4.2.3 y que corresponden a los propuestos por el Instituto del Asfalto y Universidad de Illinois respectivamente.

i) Instituto del Asfalto:

Sea:

x : Material retenido en la malla N° 8.

y : Material que pasa la malla N° 200.

Entonces, la ecuación inicial será:

$$P_c = \frac{0.035 * x + 0.045 * ((100 - x) - y) + K * y + F}{R}$$

Resolviendo la ecuación, se obtiene la ecuación siguiente:

$$P_c(x, y) = \frac{4.5 - 0.01 * x + (K - 0.045) * y + F}{R}$$

De los resultados obtenidos en laboratorio e indicados en la tabla 7-7, se obtiene que, R=63.7% y F=0.7. Reemplazando en la ecuación anterior, se obtiene la función compuesta siguiente:

$$P_c(x, y) = \left\{ \begin{array}{l} 8.16 - 0.016 * x + 0.165 * y; \forall x \in [15;75], y \in [11;15] \\ 8.16 - 0.016 * x + 0.212 * y; \forall x \in [15;75], y \in [6;10] \\ 8.16 - 0.016 * x + 0.243 * y; \forall x \in [15;75], y \in [0;5] \end{array} \right\}$$

De la función de dos variables, se obtiene los valores extremos e intermedios respectivos.

Tabla 7-15 Valores extremos – I.A.

Valores	x	y	P _c (x;y)
Mínimos	75	11	8.799
	75	6	8.257
	75	0	6.986
Máximos	15	15	10.400
	15	10	10.047
	15	5	9.144
Medios	45	7.5	8.693

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos en laboratorio e indicados en las tablas 7-2, 7-3, 7-4 y 7-7 se observa, que el contenido de asfalto que presenta el RAP es igual a 5.1% y el residuo de cemento asfáltico de la emulsión es igual a 63.7%; por lo tanto, el contenido de asfalto (Pr) y emulsión a incrementar en la mezcla será igual a:

Tabla 7-16 Contenido de emulsión tentativo – I.A.

Mezcla	Tipo I 0.7*RAP + 0.3*Agr.	Tipo II 0.5*RAP + 0.5*Agr.
x	65	64
y	5	6
P _c (%)	8.3	8.4
c.a (%)	5.1	5.1
Pr (%)	4.7	5.8
E (%)	7.4	9.1
Ep (%)	8.0	10.1

Fuente: Elaboración propia.

ii) Universidad de Illinois:

Sea:

x : Material retenido en la malla N° 4.

y : Material que pasa la malla N° 200.

Entonces, se obtiene la función de dos variables:

$$R(x, y) = 0.00138 * x * (100 - (x + y)) + 6.358 * \log_{10} y - 4.655 \quad \forall x \in [35; 65], y \in [2; 15]$$

De la función, se obtiene los valores extremos e intermedios respectivos.

Tabla 7-17 Valores extremos – U.I.

Valores	x	y	R(x;y)
Mínimos	65	2	0.219
Máximos	35	15	5.238
Medios	50	8.5	2.728

Fuente: Elaboración propia.

De lo expuesto anteriormente, la cantidad de asfalto (R) y emulsión (E) a incrementar en la mezcla será:

Tabla 7-18 Contenido de emulsión tentativo – U.I.

Mezcla	Tipo I	Tipo II
	0.7*RAP + 0.3*Agr.	0.5*RAP + 0.5*Agr.
x	49	49
y	5	6
R(%)	2.9	3.3
E (%)	4.4	5.0
Ep (%)	4.6	5.2

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, de los contenidos de emulsión teórico tentativo obtenidos por los dos métodos e indicados en las tablas 7-16 y 7-18, se obtiene el contenido de emulsión teórico tentativo (E), mediante el promedio de sus valores, teniendo como resultados los siguientes valores:

Tabla 7-19 Contenido de emulsión tentativo final.

Emulsión	Mezcla	
	Tipo I	Tipo II
E (%)	6.0	7.0
Ep (%)	6.0	8.0

Fuente: Elaboración propia.

Cabe recordar que Ep: Es la cantidad de emulsión expresada en porcentaje de agregado seco.

iii) Ensayo de Recubrimiento:

A partir del contenido de emulsión calculado en la tabla 7-19, el contenido de emulsión se varió en $\pm 1.0\%$, así como también los contenidos de agua; una vez

ocurrido el rompimiento de la emulsión se evaluó visualmente la capacidad de recubrimiento de cada mezcla. Las cantidades de agregado combinado participante para una determinada cantidad de mezcla emulsionada, se muestra a continuación.

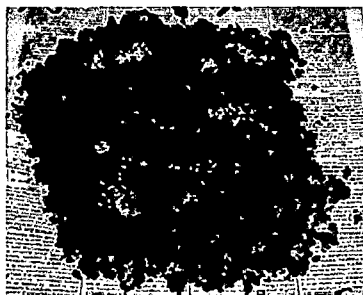
Tabla 7-20 Proporciones de RAP y agregado – Ensayo de recubrimiento.

Tipo de Material	Cantidad (gr.)	Mezcla Tipo I 0.7*RAP + 0.3*Agr.				Mezcla Tipo II 0.5*RAP + 0.5*Agr.			
		200.0	300.0	400.0	500.0	200.0	300.0	400.0	500.0
Mezcla Emulsionada		200.0	300.0	400.0	500.0	200.0	300.0	400.0	500.0
RAP	[3/4"-3/8"> (gr.)	46.7	70.0	93.3	116.7	33.3	50.0	66.7	83.3
	[3/8"-Nº 4> (gr.)	46.7	70.0	93.3	116.7	33.3	50.0	66.7	83.3
	Pasa Nº 4 (gr.)	46.7	70.0	93.3	116.7	33.3	50.0	66.7	83.3
	Sub - Total	140.0	210.0	280.0	350.0	100.0	150.0	200.0	250.0
Agregado	[3/4"-3/8"> (gr.)	4.0	6.0	8.0	10.0	16.0	24.0	32.0	40.0
	[3/8"-Nº 4> (gr.)	0.8	1.2	1.6	2.0	16.0	24.0	32.0	40.0
	Pasa Nº 4 (gr.)	55.2	82.8	110.4	138.0	68.0	102.0	136.0	170.0
	Sub - Total	60.0	90.0	120.0	150.0	100.0	150.0	200.0	250.0

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior, se escogió la mezcla emulsionada de 300 gr., debido a que permite dosificar la mezcla con valores enteros de agregado combinado. Transcurrido un período de tiempo, ocurrió el rompimiento de la emulsión en la mezcla y se observó 03 estados:

Foto 7-1 Estado (1) – Trabajabilidad escasa.



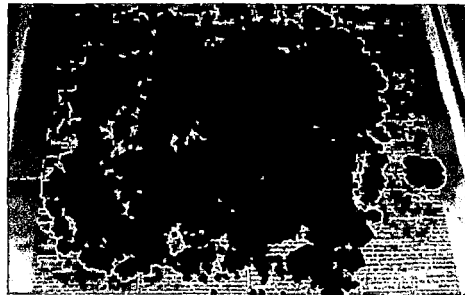
Fuente: Análisis en laboratorio (MTC-OAT).

Foto 7-2 Estado (2) – Trabajabilidad óptima.



Fuente: Análisis en laboratorio (MTC-OAT).

Foto 7-3 Estado (3) – Trabajabilidad óptima con exceso de agua.



Fuente: Análisis en laboratorio (MTC-OAT).

Por lo expuesto anteriormente, se obtuvo los resultados siguientes:

Cuadro 7-29 Recubrimiento de la emulsión – Mezcla tipo I.

Recubrimiento (%)		Agua (%)							
		3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Emulsión (%)	5.0	30	30	40	50 (1)	—	—	—	—
	6.0	35	40	60 (1)	70 (1)	—	—	—	—
	7.0	60 (1)	60 (1)	80 (1)	80 (1)	—	—	—	—
	8.0	60 (1)	70 (1)	80 (1)	80 (1)	90 (1)	—	—	—
	9.0	50 (1)	50 (1)	60 (1)	60 (2)	80 (2)	80 (3)	—	—
	10.0	40	50 (1)	60 (1)	70 (2)	70 (2)	90 (3)	90 (3)	—
	11.0	—	—	—	—	—	—	—	—

Fuente: Análisis en laboratorio.

Cuadro 7-30 Recubrimiento de la emulsión – Mezcla tipo II.

Recubrimiento (%)		Agua (%)							
		3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Emulsión (%)	5.0	--	--	--	--	--	--	--	--
	6.0	--	--	--	--	--	--	--	--
	7.0	--	--	--	--	--	--	--	--
	8.0	--	--	--	65 (1)	75 (1)	--	--	--
	9.0	--	--	--	--	90 (1)	95 (1)	--	--
	10.0	--	--	--	--	--	90 (2)	90 (2)	--
	11.0	--	--	--	--	--	--	90 (2)	95 (2)

Fuente: Análisis en laboratorio.

De los cuadros 7-29 y 7-30, puede observarse en ambas mezclas, que cantidades de emulsión superiores a 6%, como también cantidades superiores a 5% de cantidad de agua, permite recubrir óptimamente los agregados.

Los certificados de laboratorio que sustentan estos resultados indicados, pueden observarse en el Anexo B.

7.3.4.4 Determinación del Contenido Óptimo de Agua

Una vez obtenidos los contenidos tentativos de emulsión y agua, se procedió con la determinación del contenido óptimo de agua para cada tipo de mezcla, preparándose briquetas Marshall, manteniendo constante la dosificación de agregado combinado y emulsión en cada mezcla.

i) Mezcla Tipo I:

Se calcularon las dosificaciones de agregado combinado, emulsión y agua para una determinada cantidad de mezcla emulsionada, obteniéndose las tablas de resultados siguientes:

Tabla 7-21 Proporciones de agregado – Mezcla tipo I.

Cantidad de Material (gr.)		Combinación de Agregado (RAP + Agregado)					
		1000	1005	1010	1050	1100	1200
RAP	3/4"	233	235	236	245	257	280
	3/8"	233	235	236	245	257	280
	Nº 4	233	235	236	245	257	280
	Parcial	700	704	707	735	770	840

Cantidad de Material (gr.)		Combinación de Agregado (RAP + Agregado)					
		1000	1005	1010	1050	1100	1200
Agregado	3/4"	20	20	20	21	22	24
	3/8"	4	4	4	4	4	5
	Nº 4	276	277	279	290	304	331
	Parcial	300	302	303	315	330	360

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-22 Cantidad de emulsión – Mezcla tipo I.

Cantidad de Emulsión (gr.)	Agregado Combinado Húmedo (gr.)					
	1000	1005	1010	1050	1100	1200
Humedad (%)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Agr. Comb. Seco (gr.)	995	1000	1005	1045	1095	1194
Emulsión (%)	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
Contenido de asfalto (%)	63.7	63.7	63.7	63.7	63.7	63.7
Contenido de agua (%)	36.3	36.3	36.3	36.3	36.3	36.3
Asfalto residual (%)	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
Emulsión (gr.)	90	90	90	94	99	107

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-23 Cantidad de agua – Mezcla tipo I.

Cantidad de Agua (gr.)		Agregado Combinado Húmedo (gr.)					
		1000	1005	1010	1050	1100	1200
Agua (%)	2.0	15	15	15	16	16	18
	3.0	25	25	25	26	27	30
	4.0	35	35	35	37	38	42
	5.0	45	45	45	47	49	54
	6.0	55	55	55	57	60	66
	7.0	65	65	65	68	71	78
	8.0	75	75	75	78	82	90
	9.0	85	85	85	89	93	101
	10.0	95	95	95	99	104	113
	11.0	104	105	106	110	115	125

Fuente: Elaboración propia.

De las tablas 7-21, 7-22 y 7-23, se escogió la mezcla emulsionada de 1005 gr., porque permite dosificar la mezcla con valores enteros de agregado combinado, emulsión y agua.

Una vez preparada la mezcla, se procedió con la elaboración de tres briquetas Marshall por cada variación de contenido de agua, las cuales curaron por el período de 24 horas y posteriormente fueron ensayadas en la prensa Marshall, obteniéndose las tablas de resultados siguientes:

Tabla 7-24 Estabilidades para briquetas de 3% y 4% de contenido de agua – Mezcla tipo I.

Nº Briqueta	3A	3B	3C	4A	4B	4C
Contenido de emulsión (%)	9.0			9.0		
Contenido de agua (%)	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0
Contenido de agua representativo (%)	3.0			4.0		
Agregado grueso (%)	49	49	49	49	49	49
Agregado fino (%)	51	51	51	51	51	51
Peso de la briketa al aire (gr.)	1073.5	1089.4	1076.1	1094.8	1091.1	1089.5
Peso de la briketa mas parafina en el aire (gr.)	1084.1	1101.6	1084.1	1104.1	1100.2	1098.4
Peso de la briketa mas parafina en el agua (gr.)	551.1	562.0	552.4	559.0	563.0	559.3
Volumen de la briketa mas parafina (cm ³)	533.00	539.60	531.70	545.10	537.20	539.10
Peso de la parafina (gr.)	10.60	12.20	8.00	9.30	9.10	8.90
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Volumen de la parafina (cm ³)	11.76	13.54	8.88	10.32	10.10	9.88
Volumen de la briketa (cm ³)	521.24	526.06	522.82	534.78	527.10	529.22
Peso específico de la briketa (gr./cm ³)	2.06	2.07	2.06	2.05	2.07	2.06
Peso específico de la briketa promedio (gr./cm ³)	2.06			2.06		
Lectura de dial	55	56	57	63	59	62
Estabilidad sin corregir (lbs.)	55	56	57	63	59	62
Factor de estabilidad	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
Estabilidad corregida (lbs.)	600	611	622	687	643	676
Estabilidad representativa (lbs.)	611			669		

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-25 Estabilidades para briquetas de 5% y 6% de contenido de agua – Mezcla tipo I.

Nº Briqueta	5A	5B	5C	6A	6B	6C
Contenido de emulsión (%)	9.0			9.0		
Contenido de agua (%)	5.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0
Contenido de agua representativo (%)	5.0			6.0		
Agregado grueso (%)	49	49	49	49	49	49
Agregado fino (%)	51	51	51	51	51	51
Peso de la briketa al aire (gr.)	1088.7	1091.4	1083.1	1093.8	1089.2	1086.3
Peso de la briketa mas parafina en el aire (gr.)	1099.4	1101.4	1092.0	1102.8	1098.5	1095.7
Peso de la briketa mas parafina en el agua (gr.)	552.0	554.4	559.6	558.5	559.4	556.3
Volumen de la briketa mas parafina (cm ³)	547.40	547.00	532.40	544.30	539.10	539.40
Peso de la parafina (gr.)	10.70	10.00	8.90	9.00	9.30	9.40
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Volumen de la parafina (cm ³)	11.88	11.10	9.88	9.99	10.32	10.43
Volumen de la briketa (cm ³)	535.52	535.90	522.52	534.31	528.78	528.97
Peso específico de la briketa (gr./cm ³)	2.03	2.04	2.07	2.05	2.06	2.05
Peso específico de la briketa promedio (gr./cm ³)	2.05			2.05		
Lectura de dial	46	45	45	63	61	60
Estabilidad sin corregir (lbs.)	46	45	45	63	61	60
Factor de estabilidad	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
Estabilidad corregida (lbs.)	502	491	491	687	665	654
Estabilidad representativa (lbs.)	494			669		

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-26 Estabilidades para briquetas de 7% de contenido de agua – Mezcla tipo I.

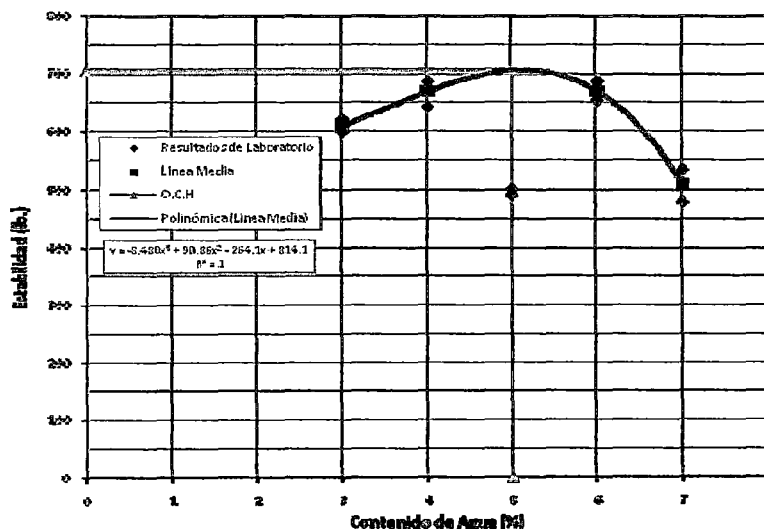
Nº Briqueta	7A	7B	7C
Contenido de emulsión (%)	9.0		
Contenido de agua (%)	7.0	7.0	7.0
Contenido de agua representativo (%)	7.0		
Agregado grueso (%)	49	49	49
Agregado fino (%)	51	51	51
Peso de la briketa al aire (gr.)	1090.3	1084.4	1046.9

Peso de la briqueta mas parafina en el aire (gr.)	1100.0	1093.8	1052.6
Peso de la briqueta mas parafina en el agua (gr.)	553.2	558.7	528.6
Volumen de la briqueta mas parafina (cm ³)	546.80	535.10	524.00
Peso de la parafina (gr.)	9.70	9.40	5.70
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.90	0.90	0.90
Volumen de la parafina (cm ³)	10.77	10.43	6.33
Volumen de la briqueta (cm ³)	536.03	524.67	517.67
Peso específico de la briqueta (gr./cm ³)	2.03	2.07	2.02
Peso específico de la briqueta promedio (gr./cm ³)	2.04		
Lectura de dial	47	49	44
Estabilidad sin corregir (lbs.)	47	49	44
Factor de estabilidad	10.9	10.9	10.9
Estabilidad corregida (lbs.)	512	534	480
Estabilidad representativa (lbs.)	509		

Fuente: Análisis en laboratorio.

De las tablas 7-24, 7-25 y 7-26, se graficaron la dispersión de puntos: contenido de agua versus estabilidad representativa, siendo la línea de tendencia, la curva de energía de compactación siguiente:

Figura 7-11 Curva de energía de compactación – Mezcla tipo I.



Fuente: Análisis en laboratorio.

Por la cantidad de puntos, la curva de tendencia pertenecerá a la función polinómica de tercer grado, correspondiéndole la identidad siguiente:

$$f_{(x)} = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

Su función derivada, pertenecerá a la función cuadrática, correspondiéndole la identidad siguiente:

$$f'_{(x)} = 3ax^2 + 2bx + c$$

Las raíces de la función derivada son aquellas que hacen que la función polinómica original tenga valores máximos y mínimos; luego de realizar los cálculos correspondientes se obtiene la tabla de resultados siguiente:

Tabla 7-27 Máxima energía de compactación – Mezcla tipo I.

Función	Coeficientes							Máximo Valor	
	a	b	c	d	a ₁	b ₁	c	x	f(x)
Cúbica	-8.4809	90.867	-264.12	814.17	—	—	—	5.00	705
Cuadrática	—	—	—	—	-25.4427	181.734	-264.12	0	0

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior, se deduce que el contenido óptimo de agua para la mezcla es igual a 5.0%.

Los certificados de laboratorio que sustentan estos resultados indicados, puede observarse en el Anexo B.

ii) Mezcla Tipo II:

De forma similar a la primera mezcla, se calcularon las dosificaciones de agregado combinado, emulsión y agua para una determinada cantidad de mezcla emulsionada, obteniéndose las tablas de resultados siguientes:

Tabla 7-28 Proporciones de agregado – Mezcla tipo II.

Cantidad de Material (gr.)		Combinación de Agregado (RAP + Agregado)					
		1000	1005	1010	1050	1100	1200
RAP	3/4"	167	168	168	175	183	200
	3/8"	167	168	168	175	183	200
	Nº 4	167	168	168	175	183	200
	Parcial	500	503	505	525	550	600
Agregado	3/4"	80	80	81	84	88	96
	3/8"	80	80	81	84	88	96
	Nº 4	340	342	343	357	374	408
	Parcial	500	503	505	525	550	600

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-29 Cantidad de emulsión – Mezcla tipo II.

Cantidad de Emulsión (gr.)	Agregado Combinado Húmedo (gr.)					
	1000	1005	1010	1050	1100	1200
Humedad (%)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Agr. Comb. Seco (gr.)	995	1000	1005	1045	1095	1194
Emulsión (%)	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Contenido de asfalto (%)	63.7	63.7	63.7	63.7	63.7	63.7
Contenido de agua (%)	36.3	36.3	36.3	36.3	36.3	36.3
Asfalto residual (%)	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Emulsión (gr.)	109	110	111	115	120	131

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-30 Cantidad de agua – Mezcla tipo II.

Cantidad de Agua (gr.)		Agregado Combinado Húmedo (gr.)					
		1000	1005	1010	1050	1100	1200
Agua (%)	2.0	15	15	15	16	16	18
	3.0	25	25	25	26	27	30
	4.0	35	35	35	37	38	42
	5.0	45	45	45	47	49	54
	6.0	55	55	55	57	60	66
	7.0	65	65	65	68	71	78
	8.0	75	75	75	78	82	90
	9.0	85	85	85	89	93	101
	10.0	95	95	95	99	104	113
	11.0	104	105	106	110	115	125

Fuente: Elaboración propia.

Por las mismas razones que en la primera mezcla, se escogió la mezcla emulsionada de 1005 gr. siguiéndose también los mismos procedimientos de preparación de briquetas y obteniéndose las tablas de resultados siguientes:

Tabla 7-31 Estabilidades para briquetas de 2% y 3% de contenido de agua – Mezcla tipo II.

Nº Briqueta	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Contenido de emulsión (%)	10.0			10.0		
Contenido de agua (%)	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0

Contenido de agua representativo (%)	2.0			3.0		
Agregado grueso (%)	49	49	49	49	49	49
Agregado fino (%)	51	51	51	51	51	51
Peso de la briqueta al aire (gr.)	1098.0	1093.3	1097.8	1107.1	1113.0	1103.4
Peso de la briqueta mas parafina en el aire (gr.)	1107.8	1101.7	1101.8	1117.2	1122.6	1111.7
Peso de la briqueta mas parafina en el agua (gr.)	557.6	564.1	558.2	560.8	568.8	573.7
Volumen de la briqueta mas parafina (cm ³)	550.20	537.60	543.60	556.40	553.80	538.00
Peso de la parafina (gr.)	9.80	8.40	4.00	10.10	9.60	8.30
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Volumen de la parafina (cm ³)	10.88	9.32	4.44	11.21	10.65	9.21
Volumen de la briqueta (cm ³)	539.32	528.28	539.16	545.19	543.15	528.79
Peso específico de la briqueta (gr./cm ³)	2.04	2.07	2.04	2.03	2.05	2.09
Peso específico de la briqueta promedio (gr./cm ³)	2.05			2.06		
Lectura de dial	43	41	39	47	49	51
Estabilidad sin corregir (lbs.)	43	41	39	47	49	51
Factor de estabilidad	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
Estabilidad corregida (lbs.)	469	447	425	512	534	556
Estabilidad representativa (lbs.)	447			534		

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-32 Estabilidades para briquetas de 4% y 5% de contenido de agua – Mezcla tipo II.

Nº Briqueta	4A	4B	4C	5A	5B	5C
Contenido de emulsión (%)	10.0			10.0		
Contenido de agua (%)	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0
Contenido de agua representativo (%)	4.0			5.0		
Agregado grueso (%)	49	49	49	49	49	49
Agregado fino (%)	51	51	51	51	51	51
Peso de la briqueta al aire (gr.)	1106.1	1116.7	1109.6	1100.6	1106.3	1111.5
Peso de la briqueta mas parafina en el aire (gr.)	1115.0	1126.1	1117.6	1109.7	1114.5	1119.5
Peso de la briqueta mas parafina en el agua (gr.)	566.2	568.7	576.7	569.5	569.5	566.2
Volumen de la briqueta mas parafina (cm ³)	548.80	557.40	540.90	540.20	545.00	553.30
Peso de la parafina (gr.)	8.90	9.40	8.00	9.10	8.20	8.00

Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Volumen de la parafina (cm ³)	9.88	10.43	8.88	10.10	9.10	8.88
Volumen de la briqueta (cm ³)	538.92	546.97	532.02	530.10	535.90	544.42
Peso específico de la briqueta (gr./cm ³)	2.05	2.04	2.09	2.08	2.06	2.04
Peso específico de la briqueta promedio (gr./cm ³)	2.06			2.06		
Lectura de dial	41	44	43	49	47	45
Estabilidad sin corregir (lbs.)	41	44	43	49	47	45
Factor de estabilidad	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
Estabilidad corregida (lbs.)	447	480	469	534	512	491
Estabilidad representativa (lbs.)	465			512		

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-33 Estabilidades para briquetas de 6% de contenido de agua – Mezcla tipo II.

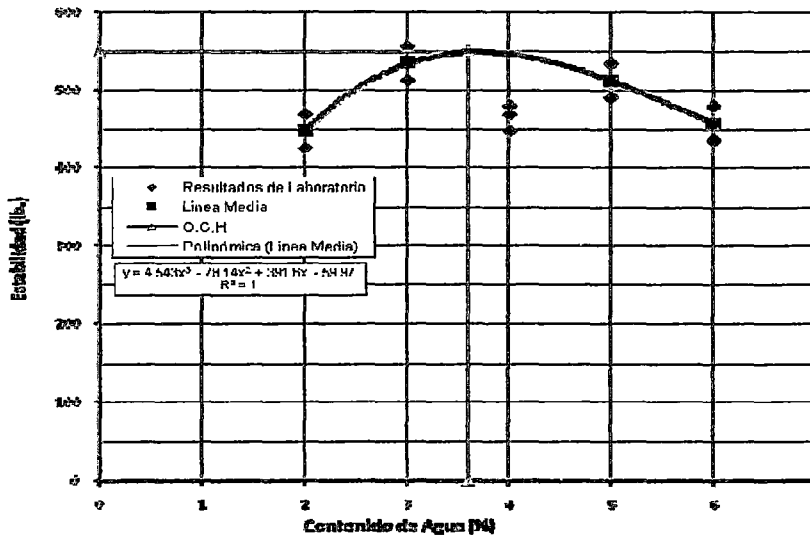
Nº Briqueta	6A	6B	6C
Contenido de emulsión (%)	10.0		
Contenido de agua (%)	6.0	6.0	6.0
Contenido de agua representativo (%)	6.0		
Agregado grueso (%)	49	49	49
Agregado fino (%)	51	51	51
Peso de la briqueta al aire (gr.)	1098.6	1101.1	1102.8
Peso de la briqueta mas parafina en el aire (gr.)	1108.5	1110.8	1111.6
Peso de la briqueta mas parafina en el agua (gr.)	575.1	565.3	572.8
Volumen de la briqueta mas parafina (cm ³)	533.40	545.50	538.80
Peso de la parafina (gr.)	9.90	9.70	8.80
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.90	0.90	0.90
Volumen de la parafina (cm ³)	10.99	10.77	9.77
Volumen de la briqueta (cm ³)	522.41	534.73	529.03
Peso específico de la briqueta (gr./cm ³)	2.10	2.06	2.08
Peso específico de la briqueta promedio (gr./cm ³)	2.08		
Lectura de dial	44	42	40
Estabilidad sin corregir (lbs.)	44	42	40
Factor de estabilidad	10.9	10.9	10.9

Estabilidad corregida (lbs.)	480	458	436
Estabilidad representativa (lbs.)	458		

Fuente: Análisis en laboratorio.

De las tablas 7-31, 7-32 y 7-33, se graficaron la dispersión de puntos: contenido de agua versus estabilidad representativa, siendo la línea de tendencia, la curva de energía de compactación siguiente:

Figura 7-12 Curva de energía de compactación – Mezcla tipo II.



Fuente: Análisis en laboratorio.

Al igual que la primera mezcla, la curva de tendencia pertenecerá a la función polinómica de tercer grado y por los mismos conceptos matemáticos se calculará el valor máximo, obteniendo la tabla de resultados siguiente:

Tabla 7-34 Máxima energía de compactación – Mezcla tipo II.

Función	Coeficientes							Máximo Valor	
	a	b	c	d	a ₁	b ₁	c	x	f(x)
Cubica	4.5433	-78.145	391.64	-59.912	---	---	---	3.60	549
Cuadratica	---	---	---	---	13.6299	-156.29	391.64	0	0

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior, se deduce que el contenido óptimo de agua para la mezcla es igual a 3.6%.

Los certificados de laboratorio que sustentan estos resultados indicados, puede observarse en el Anexo B.

7.3.4.5 Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto

Una vez determinados los contenidos óptimos de agua para cada tipo de mezcla, se procedió con la determinación del contenido óptimo de emulsión respectiva, preparándose briquetas Marshall, manteniendo constante la dosificación de agregado combinado y contenido de agua. La variación de contenidos de emulsión hará que inicialmente el contenido de agua también varíe, por lo que ha sido necesario realizar procedimientos de aireación de la mezcla de modo que ésta pierda humedad y logre tener el óptimo contenido de agua obtenido en el ítem anterior (7.3.4.4).

i) Mezcla Tipo I:

Se calcularon las dosificaciones de agregado combinado, emulsión y agua para una determinada cantidad de mezcla emulsionada, obteniéndose las tablas de resultados siguientes:

Tabla 7-35 Proporción de materiales – Mezcla Tipo I.

Material	Cantidad
Peso húmedo del agregado combinado (gr.)	1005
Humedad del agregado combinado (%)	0.5
Peso seco del agregado combinado (gr.)	1000
Residuo asfáltico en la emulsión (%)	63.7
Contenido de agua en la emulsión (%)	36.3
Contenido óptimo de agua de recubrimiento (%)	8.0
Contenido óptimo de agua de compactación (%)	5.0
Cantidad de agua adicional en la premezcla (gr.)	75
Cantidad de agua óptima de compactación (gr.)	45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-36 Pérdida de humedad – Mezcla tipo I.

Material	Cantidad				
	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
Emulsión (%)	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0
Emulsión (gr.)	29.0	32.7	36.3	39.9	43.6
Agua en la emulsión (gr.)	104.0	107.7	111.3	114.9	118.6
Agua total (gr.)	59.0	63	66	70	74
Pérdida de humedad (gr.)					

Fuente: Elaboración propia.

Una vez preparada la mezcla, se procedió con la elaboración de seis briquetas Marshall por cada variación de contenido de emulsión, las tres primeras briquetas de cada contenido de emulsión sirvieron para el ensayo en estado seco y las restantes para el ensayo en estado inmerso, curaron por el período de 72 horas. Las briquetas en estado seco fueron inmediatamente ensayadas en la prensa Marshall, mientras que las briquetas en estado húmedo estuvieron sumergidas por el período de 48 horas por cada cara (superior e inferior), posteriormente fueron también ensayadas en la prensa Marshall, obteniéndose las tablas de resultados siguientes:

Tabla 7-37 Marshall modificado para 8% de contenido de emulsión – Mezcla tipo I.

MARSHALL MODIFICADO						
Asfalto		Agregado				
Tipo y Grado	CSS-1h-SBR	Identificación de fuente			Carretera Central Tramo San Mateo - La Oroya	
Emulsión (%)	8.0					
Asfalto en emulsión (%)	63.7	Tipo	70%RAP + 30%Agregado			
Gravedad específica del asfalto	1.100	Grav. Esp. Bulk	2.181			
Asfalto residual en mezcla (%)	5.10	Humedad (%)	0.5			
Mezcla y Compactación		Prueba				
Agua total en la mezcla (%)	8.0	Temperatura (°C)	21.5	Humedad relativa (%)	71	
Agua agregada (gr.)	75	Fecha de ensayo de muestra seca			17/07/2006	
Agua al compactar (%)	5.0	Fecha de rotación muestra inmersa			22/07/2006	
Fecha de compactación	14/07/2006	Fecha de ensayo de la muestra húmeda			24/07/2006	
Datos de la Muestra Compactada		Seca			Húmeda	
		A	B	C	D	E
Densidad Bulk						
Peso en el aire (gr.)	1058.9	1056.6	1057.8	1086.4	1100.7	1086.6
Peso en el agua (gr.)	540.3	542.0	544.6	557.5	564.8	557.3
Peso superficialmente seco	1072.9	1073.2	1069.1	1095.2	1109.9	1095.4
Volumen de la briketa mas parafina (cm ³)	518.6	514.6	513.2	528.9	535.9	529.3
Peso de la parafina (gr.)	14.0	16.6	11.3	8.8	9.2	8.8
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Volumen de la parafina (cm ³)	15.5	18.4	12.5	9.8	10.2	9.8

Volumen de la briqueta (cm ³)	503.1	496.2	500.7	519.1	525.7	519.5
Densidad bulk de muestra compacta (gr./cm ³)	1.988	1.989	2.017	2.020	2.019	2.019
Densidad bulk de muestra compacta seca (gr./cm ³)	1.948	1.951	1.986	1.908	1.906	1.907
Densidad bulk promedio de muestra compacta seca (gr./cm ³)	1.961		1.907			
Espesor (cm.)	6.45	6.65	6.4	6.37	6.73	6.54
Diámetro (cm.)	10.2	10.15	10.15	10.36	10.25	10.21
Estabilidad y Flujo						
Lectura del dial	100	108	126	98	99	99
Factor de estabilidad	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904
Estabilidad (lbs.)	1086	1178	1374	1069	1079	1079
Estabilidad ajustada (lbs.)	1129	1225	1429	1069	1036	1079
Estabilidad ajustada promedio (lbs.)	1261		1061			
Pérdida de estabilidad (lbs.)	16					
Flujo	12	13	10	10	10	13
Flujo promedio	12		11			
Contenido de Humedad						
Peso de la muestra fallada (gr.)	607.7	525.6	542.4	417.8	467.2	334.5
Peso de la muestra fallada seca (gr.)	598.3	517.0	536.4	400.1	449.2	320.4
Peso de tara (gr.)	169.3	96.5	173.9	114.3	159.7	92.2
Contenido de humedad (%)	2.08	1.95	1.57	5.89	5.92	5.88
Contenido de humedad promedio (%)	1.87		5.90			
Humedad absorbida (%)	—		-4.03			
Vacios totales máximos (%)	6.35	6.19	4.55	—	—	—
Vacios total máximo promedio (%)	5.70		—			

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-38 Marshall modificado para 9% de contenido de emulsión – Mezcla tipo I.

MARSHALL MODIFICADO			
Asfalto		Agregado	
Tipo y Grado	CSS-1h-SBR	Identificación de fuente	Carretera Central Tramo San Mateo - La Oroya
Emulsión (%)	9.0		
Asfalto en emulsión (%)	63.7	Tipo	70%RAP + 30%Agregado
Gravedad específica del asfalto	1.100	Grav. Esp. Bulk	2.181

Asfalto residual en mezcla (%)	5.73	Humedad (%)	0.5				
Mezcla y Compactación		Prueba					
Agua total en la mezcla (%)	8.0	Temperatura (°C)	21.5	Humedad relativa (%)	71		
Agua agregada (gr.)	75	Fecha de ensayo de muestra seca			17/07/2006		
Agua al compactar (%)	5.0	Fecha de rotación muestra inmersa			22/07/2006		
Fecha de compactación	14/07/2006	Fecha de ensayo de la muestra húmeda			24/07/2006		
Datos de la Muestra Compactada							
		Seca			Húmeda		
		A	B	C	D	E	F
Densidad Bulk							
Peso en el aire (gr.)	1065.0	1061.6	1062.6	1093.4	1093.2	1095.1	
Peso en el agua (gr.)	546.8	548.9	545.0	573.8	573.0	572.1	
Peso superficialmente seco	1076.8	1073.9	1075.2	1103.4	1102.5	1102.8	
Volumen de la briqueta mas parafina (cm ³)	518.2	512.7	517.6	519.6	520.2	523.0	
Peso de la parafina (gr.)	11.8	12.3	12.6	10.0	9.3	7.7	
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
Volumen de la parafina (cm ³)	13.1	13.7	14.0	11.1	10.3	8.5	
Volumen de la briqueta (cm ³)	505.1	499.0	503.6	508.5	509.9	514.5	
Densidad bulk de muestra compacta (gr./cm ³)	2.009	2.022	2.004	2.065	2.065	2.064	
Densidad bulk de muestra compacta seca (gr./cm ³)	1.976	1.990	1.973	1.970	1.969	1.970	
Densidad bulk promedio de muestra compacta seca (gr./cm ³)	1.980			1.969			
Espesor (cm.)	6.45	6.2	6.1	6.46	6.42	6.47	
Diámetro (cm.)	10.15	10.3	10.32	10.24	10.23	10.26	
Estabilidad y Flujo							
Lectura del dial	125	127	128	105	106	105	
Factor de estabilidad	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904	
Estabilidad (lbs.)	1363	1385	1396	1145	1156	1145	
Estabilidad ajustada (lbs.)	1418	1440	1452	1145	1156	1145	
Estabilidad ajustada promedio (lbs.)	1436			1149			
Pérdida de estabilidad (lbs.)	20						
Flujo	11	15	15	14	12	13	

Flujo promedio	14			13		
Contenido de Humedad						
Peso de la muestra fallada (gr.)	577.3	615.1	508.5	690.7	766.8	758.7
Peso de la muestra fallada seca (gr.)	569.1	607.6	501.9	664.8	734.0	727.6
Peso de tara (gr.)	107.6	166.0	98.2	156.8	93.0	110.7
Contenido de humedad (%)	1.69	1.62	1.56	4.82	4.84	4.77
Contenido de humedad promedio (%)	1.62			4.81		
Humedad absorbida (%)	—			-3.19		
Vacios totales máximos (%)	4.48	3.81	4.61	—	—	—
Vacios total máximo promedio (%)	4.30			—		

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-39 Marshall modificado para 10% de contenido de emulsión – Mezcla tipo I.

MARSHALL MODIFICADO						
Asfalto		Agregado				
Tipo y Grado	CSS-1h-SBR	Identificación de fuente	Carretera Central Tramo San Mateo - La Oroya			
Emulsión (%)	10.0					
Asfalto en emulsión (%)	63.7	Tipo	70%RAP + 30%Agregado			
Gravedad específica del asfalto	1.100	Grav. Esp. Bulk	2.181			
Asfalto residual en mezcla (%)	6.37	Humedad (%)	0.5			
Mezcla y Compactación		Prueba				
Agua total en la mezcla (%)	8.0	Temperatura (°C)	21.5	Humedad relativa (%)	71	
Agua agregada (gr.)	75	Fecha de ensayo de muestra seca			17/07/2006	
Agua al compactar (%)	5.0	Fecha de rotación muestra inmersa			22/07/2006	
Fecha de compactación	14/07/2006	Fecha de ensayo de la muestra húmeda			24/07/2006	
Datos de la Muestra Compactada		Seca			Húmeda	
		A	B	C	D	E
Densidad Bulk						
Peso en el aire (gr.)	1068.2	1070.2	1069.5	1100.2	1103.5	1107.3
Peso en el agua (gr.)	566.9	558.4	548.9	570.0	571.4	574.2
Peso superficialmente seco	1082.9	1085.9	1083.6	1109.5	1112.9	1117.1
Volumen de la briqueta mas parafina (cm ³)	501.3	511.8	520.6	530.2	532.1	533.1

Peso de la parafina (gr.)	14.7	15.7	14.1	9.3	9.4	9.8
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Volumen de la parafina (cm ³)	16.3	17.4	15.6	10.3	10.4	10.9
Volumen de la briqueta (cm ³)	485.0	494.4	505.0	519.9	521.7	522.2
Densidad bulk de muestra compacta (gr./cm ³)	2.070	2.029	2.000	2.039	2.038	2.040
Densidad bulk de muestra compacta seca (gr./cm ³)	2.037	1.995	1.962	1.960	1.958	1.960
Densidad bulk promedio de muestra compacta seca (gr./cm ³)	1.998			1.959		
Espesor (cm.)	6.4	6.45	6.45	6.46	6.67	6.55
Diámetro (cm.)	10.15	10.3	10.3	10.26	10.22	10.37
<i>Estabilidad y Flujo</i>						
Lectura del dial	135	136	140	110	104	100
Factor de estabilidad	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904
Estabilidad (lbs.)	1475	1483	1527	1199	1134	1090
Estabilidad ajustada (lbs.)	1608	1616	1588	1199	1134	1090
Estabilidad ajustada promedio (lbs.)	1604			1141		
Pérdida de estabilidad (lbs.)	29					
Flujo	15	16	14	15	14	13
Flujo promedio	15			14		
<i>Contenido de Humedad</i>						
Peso de la muestra fallada (gr.)	536.4	532.8	568.6	704.7	755.4	653.1
Peso de la muestra fallada seca (gr.)	529.1	525.5	559.2	680.0	728.5	630.1
Peso de tara (gr.)	100.0	110.8	103.2	108.0	107.6	96.9
Contenido de humedad (%)	1.62	1.67	1.96	4.06	4.07	4.06
Contenido de humedad promedio (%)	1.75			4.06		
Humedad absorbida (%)	—			-2.31		
Vacios totales máximos (%)	1.00	3.03	4.65	—	—	—
Vacios total máximo promedio (%)	2.89			—		

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-40 Marshall modificado para 11% de contenido de emulsión – Mezcla tipo I.

MARSHALL MODIFICADO							
Asfalto		Agregado					
Tipo y Grado	CSS-1h-SBR	Identificación de fuente		Carretera Central Tramo San Mateo - La Oroya			
Emulsión (%)	11.0						
Asfalto en emulsión (%)	63.7	Tipo		70%RAP + 30%Agregado			
Gravedad específica del asfalto	1.100	Grav. Esp. Bulk		2.181			
Asfalto residual en mezcla (%)	7.01	Humedad (%)		0.5			
Mezcla y Compactación		Prueba					
Agua total en la mezcla (%)	8.0	Temperatura (°C)		21.5	Humedad relativa (%) 71		
Agua agregada (gr.)	75	Fecha de ensayo de muestra seca			17/07/2006		
Agua al compactar (%)	5.0	Fecha de rotación muestra inmersa			22/07/2006		
Fecha de compactación	14/07/2006	Fecha de ensayo de la muestra húmeda			24/07/2006		
Datos de la Muestra Compactada		Seca			Húmeda		
		A	B	C	D	E	F
Densidad Bulk							
Peso en el aire (gr.)		1074.2	1085.7	1078.4	1120.4	1106.2	1117.3
Peso en el agua (gr.)		566.5	545.1	579.2	569.8	563.5	567.3
Peso superficialmente seco		1090.6	1100.0	1091.2	1131.4	1117.0	1126.8
Volumen de la briqueta mas parafina (cm ³)		507.7	540.6	499.2	550.6	542.7	550.0
Peso de la parafina (gr.)		16.4	14.3	12.8	11.0	10.8	9.5
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Volumen de la parafina (cm ³)		18.2	15.9	14.2	12.2	12.0	10.5
Volumen de la briqueta (cm ³)		489.5	524.7	485.0	538.4	530.7	539.5
Densidad bulk de muestra compacta (gr./cm ³)		2.050	1.957	2.106	1.995	1.999	1.997
Densidad bulk de muestra compacta seca (gr./cm ³)		2.015	1.922	2.066	1.934	1.937	1.935
Densidad bulk promedio de muestra compacta seca (gr./cm ³)		2.001			1.935		
Espesor (cm.)		6.35	7.03	6.32	6.79	6.73	6.81
Diámetro (cm.)		10.3	10.15	10.2	10.4	10.25	10.25

Estabilidad y Flujo						
Lectura del dial	143	163	144	106	105	107
Factor de estabilidad	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904
Estabilidad (lbs.)	1559	1775	1570	1156	1145	1167
Estabilidad ajustada (lbs.)	1700	1704	1711	1075	1099	1085
Estabilidad ajustada promedio (lbs.)	1705			1086		
Pérdida de estabilidad (lbs.)	36					
Flujo	16	15	18	16	14	16
Flujo promedio	16			15		
Contenido de Humedad						
Peso de la muestra fallada (gr.)	602.9	603.5	536.3	609.0	596.0	662.9
Peso de la muestra fallada seca (gr.)	595.3	594.2	529.0	594.5	581.9	647.3
Peso de tara (gr.)	168.5	101.9	169.4	168.5	166.0	189.0
Contenido de humedad (%)	1.69	1.80	1.93	3.18	3.17	3.18
Contenido de humedad promedio (%)	1.81			3.18		
Humedad absorbida (%)	—			-1.37		
Vacios totales máximos (%)	1.53	6.09	-0.97	—	—	—
Vacios total máximo promedio (%)	2.22			—		

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-41 Marshall modificado para 8% de contenido de emulsión – Mezcla tipo I.

MARSHALL MODIFICADO					
Asfalto		Agregado			
Tipo y Grado	CSS-1h-SBR	Identificación de fuente	Carretera Central Tramo San Mateo - La Oroya		
Emulsión (%)	12.0				
Asfalto en emulsión (%)	63.7	Tipo	70%RAP + 30%Agregado		
Gravedad específica del asfalto	1.100	Grav. Esp. Bulk	2.181		
Asfalto residual en mezcla (%)	7.64	Humedad (%)	0.5		
Mezcla y Compactación		Prueba			
Agua total en la mezcla (%)	8.0	Temperatura (°C)	21.5	Humedad relativa (%)	71
Agua agregada (gr.)	75	Fecha de ensayo de muestra seca		17/07/2006	
Agua al compactar (%)	5.0	Fecha de rotación muestra inmersa		22/07/2006	
Fecha de compactación	14/07/2006	Fecha de ensayo de la muestra húmeda		24/07/2006	

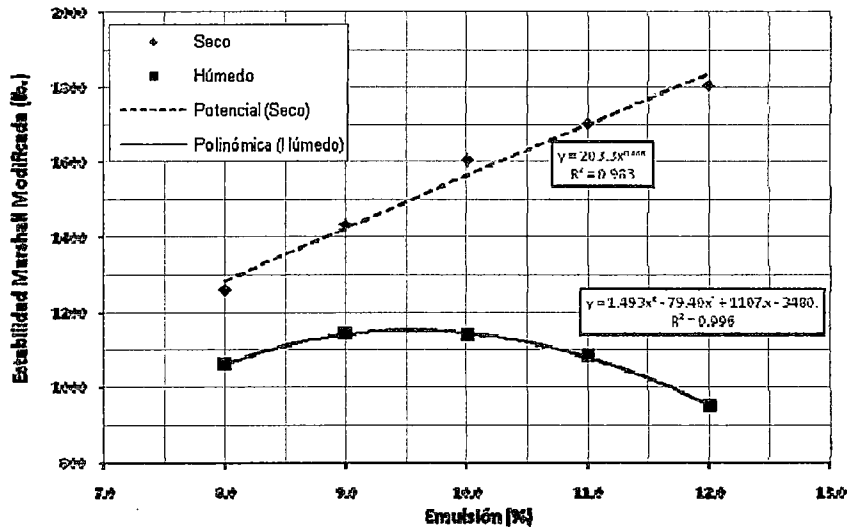
Datos de la Muestra Compactada	Seca			Húmeda		
	A	B	C	D	E	F
Densidad Bulk						
Peso en el aire (gr.)	1084.8	1085.1	1082.5	1110.8	1109.6	1103.8
Peso en el agua (gr.)	569.3	561.1	561.2	551.8	550.0	548.5
Peso superficialmente seco	1097.8	1102.9	1098.0	1119.6	1119.0	1115.1
Volumen de la briqueta mas parafina (cm ³)	515.5	524.0	521.3	559.0	559.6	555.3
Peso de la parafina (gr.)	13.0	17.8	15.5	8.8	9.4	11.3
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Volumen de la parafina (cm ³)	14.4	19.8	17.2	9.8	10.4	12.5
Volumen de la briqueta (cm ³)	501.1	504.2	504.1	549.2	549.2	542.8
Densidad bulk de muestra compacta (gr./cm ³)	2.053	2.003	2.017	1.956	1.950	1.948
Densidad bulk de muestra compacta seca (gr./cm ³)	2.014	1.973	1.978	1.915	1.909	1.906
Densidad bulk promedio de muestra compacta seca (gr./cm ³)	1.988			1.910		
Espesor (cm.)	6.58	6.7	6.67	6.47	6.45	6.72
Diámetro (cm.)	10.13	10.2	10.21	10.33	10.32	10.26
Estabilidad y Flujo						
Lectura del dial	159	160	159	98	99	94
Factor de estabilidad	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904
Estabilidad (lbs.)	1734	1745	1730	1069	1079	1025
Estabilidad ajustada (lbs.)	1803	1814	1800	951	961	953
Estabilidad ajustada promedio (lbs.)	1806			955		
Pérdida de estabilidad (lbs.)	47					
Flujo	18	15	17	14	19	14
Flujo promedio	17			16		
Contenido de Humedad						
Peso de la muestra fallada (gr.)	601.0	695.9	682.7	685.7	579.0	572.1
Peso de la muestra fallada seca (gr.)	591.2	687.4	672.1	674.5	569.3	560.7
Peso de tara (gr.)	108.1	144.2	151.7	192.6	151.0	78.6
Contenido de humedad (%)	1.93	1.49	1.94	2.16	2.15	2.20
Contenido de humedad promedio (%)	1.79			2.17		
Humedad absorbida (%)	—			-0.38		

Vacios totales máximos (%)	1.09	3.10	2.83	—	—	—
Vacios total máximo promedio (%)	2.34			—		

Fuente: Análisis en laboratorio.

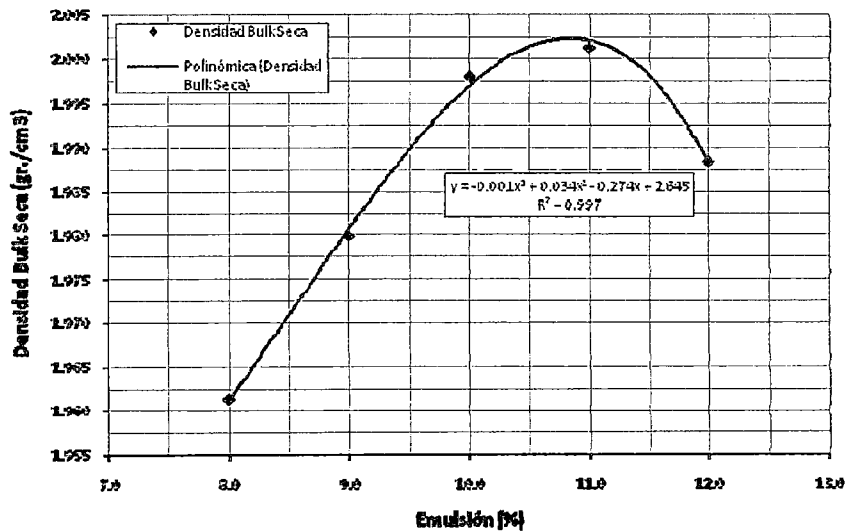
De las tablas 7-37, 7-38, 7-39, 7-40 y 7-41, se obtienen las gráficas siguientes:

Figura 7-13 Curva de estabilidad – Mezcla tipo I.



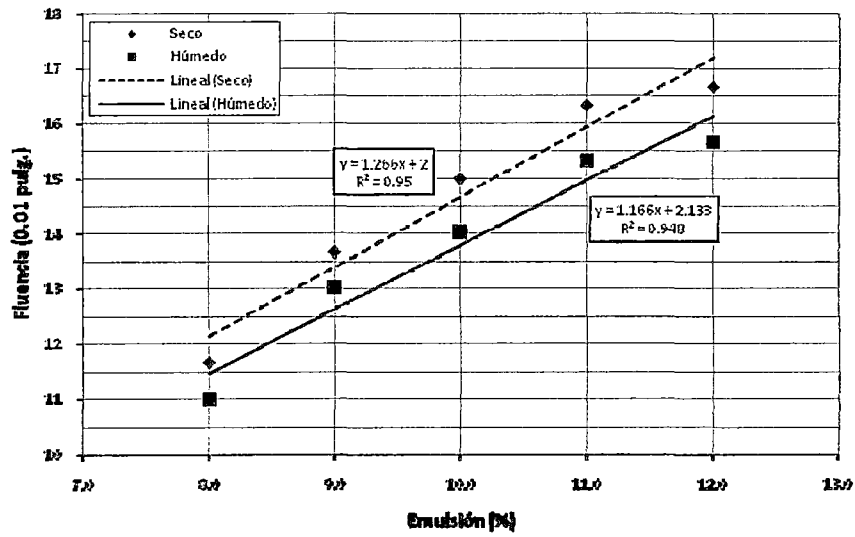
Fuente: Análisis en laboratorio.

Figura 7-14 Curva de densidad bulk – Mezcla tipo I



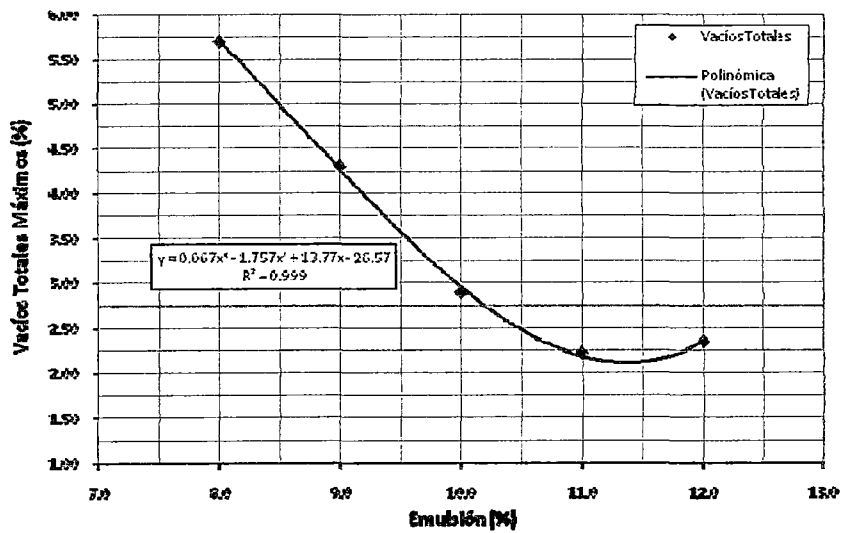
Fuente: Análisis en laboratorio.

Figura 7-15 Curva de flujo – Mezcla tipo I.



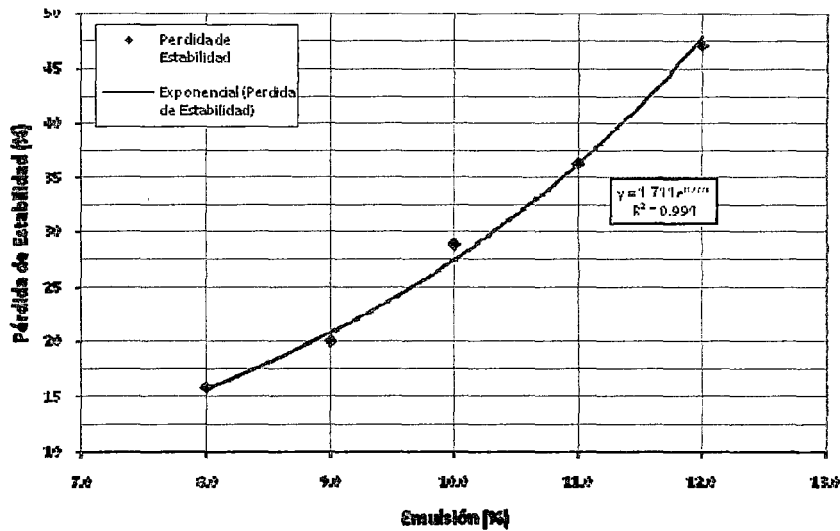
Fuente: Análisis en laboratorio.

Figura 7-16 Curva de vacíos – Mezcla tipo I.



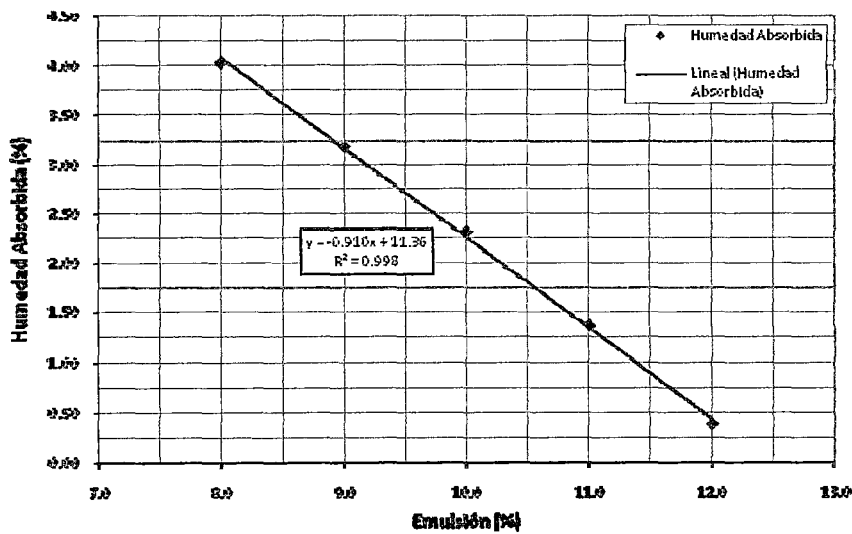
Fuente: Análisis en laboratorio.

Figura 7-17 Curva de variación de la estabilidad – Mezcla tipo I.



Fuente: Análisis en laboratorio.

Figura 7-18 Curva de absorción de humedad – Mezcla tipo I.



Fuente: Análisis en laboratorio.

ii) Mezcla Tipo II:

De forma similar a la primera mezcla se calcularon las dosificaciones de agregado combinado, emulsión y agua para una determinada cantidad de mezcla emulsionada, obteniéndose las tablas de resultados siguientes:

Tabla 7-42 Proporción de materiales – Mezcla tipo II.

Material	Cantidad
Peso húmedo del agregado combinado (gr.)	1005
Humedad del agregado combinado (%)	0.5
Peso seco del agregado combinado (gr.)	1000
Residuo asfáltico en la emulsión (%)	63.7
Contenido de agua en la emulsión (%)	36.3
Contenido óptimo de agua de recubrimiento (%)	9.0
Contenido óptimo de agua de compactación (%)	3.6
Cantidad de agua adicional en la premezcla (gr.)	85
Cantidad de agua óptima de compactación (gr.)	31

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-43 Pérdida de humedad – Mezcla tipo II.

Material	Cantidad				
	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0
Emulsión (%)	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0
Emulsión (gr.)	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0
Agua en la emulsión (gr.)	25.4	29.0	32.7	36.3	39.9
Agua total (gr.)	110.4	114.0	117.7	121.3	124.9
Pérdida de humedad (gr.)	79.4	83.0	86.7	90.3	93.9

Fuente: Elaboración propia.

De forma similar a la primera mezcla, se elaboraron las seis briquetas Marshall por cada variación de contenido de emulsión, luego se ensayaron en la prensa Marshall, obteniéndose las tablas de resultados siguientes:

Tabla 7-44 Marshall modificado para 7% de contenido de emulsión – Mezcla tipo II.

MARSHALL MODIFICADO			
Asfalto		Agregado	
Tipo y Grado	CSS-1h-SBR	Identificación de fuente	Carretera Central Tramo San Mateo - La Oroya
Emulsión (%)	7.0		
Asfalto en emulsión (%)	63.7	Tipo	50%RAP + 50%Agregado
Gravedad específica del asfalto	1.100	Grav. Esp. Bulk	2.307
Asfalto residual en mezcla (%)	4.46	Humedad (%)	0.5

Mezcla y Compactación		Prueba				
Agua total en la mezcla (%)	9.0	Temperatura (°C)	21.5	Humedad relativa (%)	71	
Agua agregada (gr.)	85	Fecha de ensayo de muestra seca		17/07/2006		
Agua al compactar (%)	3.6	Fecha de rotación muestra inmersa		22/07/2006		
Fecha de compactación	14/07/2006	Fecha de ensayo de la muestra húmeda		24/07/2006		
Datos de la Muestra Compactada	Seca			Húmeda		
	A	B	C	D	E	F
<i>Densidad Bulk</i>						
Peso en el aire (gr.)	1041.1	1040.4	1045.2	1091.0	1093.0	1079.3
Peso en el agua (gr.)	532.0	528.0	530.5	576.3	576.5	577.0
Peso superficialmente seco	1055.5	1050.8	1056.7	1098.0	1098.2	1086.3
Volumen de la briqueta mas parafina (cm ³)	509.1	512.4	514.7	514.7	516.5	502.3
Peso de la parafina (gr.)	14.4	10.4	11.5	7.0	5.2	7.0
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Volumen de la parafina (cm ³)	16.0	11.5	12.8	7.8	5.8	7.8
Volumen de la briqueta (cm ³)	493.1	500.9	501.9	506.9	510.7	494.5
Densidad bulk de muestra compacta (gr./cm ³)	1.989	1.990	1.986	2.091	2.095	2.119
Densidad bulk de muestra compacta seca (gr./cm ³)	1.962	1.967	1.960	1.966	1.969	1.993
Densidad bulk promedio de muestra compacta seca (gr./cm ³)	1.963			1.976		
Espesor (cm.)	6.3	6.32	6.12	6.3	6.32	6.12
Diametro (cm.)	10.21	10.28	10.38	10.21	10.28	10.38
<i>Estabilidad y Flujo</i>						
Lectura del dial	150	156	154	39	40	38
Factor de estabilidad	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904
Estabilidad (lbs.)	1636	1701	1682	425	436	410
Estabilidad ajustada (lbs.)	1783	1769	1750	442	436	447
Estabilidad ajustada promedio (lbs.)	1767			442		
Pérdida de estabilidad (lbs.)	75					
Flujo	12	9	15	11	9	13
Flujo promedio	12			11		
<i>Contenido de Humedad</i>						
Peso de la muestra fallada (gr.)	525.4	383.2	492.3	653.6	622.1	744.6

Peso de la muestra fallada seca (gr.)	519.6	379.7	487.8	619.2	588.1	708.0
Peso de tara (gr.)	110.8	100.0	169.4	103.8	79.3	155.3
Contenido de humedad (%)	1.35	1.19	1.34	6.39	6.40	6.34
Contenido de humedad promedio (%)	1.30			6.38		
Humedad absorbida (%)	—			-5.08		
Vacios totales máximos (%)	10.92	10.73	11.02	—	—	—
Vacios total máximo promedio (%)	10.89					

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-45 Marshall modificado para 8% de contenido de emulsión – Mezcla tipo II.

MARSHALL MODIFICADO						
Asfalto		Agregado				
Tipo y Grado	CSS-1h-SBR	Identificación de fuente	Carretera Central Tramo San Mateo - La Oroya			
Emulsión (%)	8.0					
Asfalto en emulsión (%)	63.7	Tipo	50%RAP + 50%Agregado			
Gravedad específica del asfalto	1.100	Grav. Esp. Bulk	2.307			
Asfalto residual en mezcla (%)	5.10	Humedad (%)	0.5			
Mezcla y Compactación		Prueba				
Agua total en la mezcla (%)	9.0	Temperatura (°C)	21.5	Humedad relativa (%)	71	
Agua agregada (gr.)	85	Fecha de ensayo de muestra seca	17/07/2006			
Agua al compactar (%)	3.6	Fecha de rotación muestra inmersa	22/07/2006			
Fecha de compactación	14/07/2006	Fecha de ensayo de la muestra húmeda	24/07/2006			
Datos de la Muestra Compactada		Seca			Húmeda	
		A	B	C	D	E
Densidad Bulk						
Peso en el aire (gr.)	1043.6	1029.4	1049.5	1092.3	1096.8	1094.2
Peso en el agua (gr.)	541.3	539.1	543.0	576.0	579.0	575.8
Peso superficialmente seco	1061.3	1050.5	1065.5	1099.1	1103.7	1100.5
Volumen de la briqueta mas parafina (cm ³)	502.3	490.3	506.5	516.3	517.8	518.4
Peso de la parafina (gr.)	17.7	21.1	16.0	6.8	6.9	6.3
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Volumen de la parafina (cm ³)	19.6	23.4	17.8	7.5	7.7	7.0
Volumen de la briqueta (cm ³)	482.7	466.9	488.7	508.8	510.1	511.4

Densidad bulk de muestra compacta (gr./cm ³)	2.007	2.013	2.009	2.088	2.090	2.085
Densidad bulk de muestra compacta seca (gr./cm ³)	1.980	1.987	1.983	1.991	1.994	1.989
Densidad bulk promedio de muestra compacta seca (gr./cm ³)	1.983			1.991		
Espesor (cm.)	6.32	6.54	6.36	6.32	6.54	6.36
Diámetro (cm.)	10.2	10.15	10.26	10.2	10.15	10.26
Estabilidad y Flujo						
Lectura del dial	134	133	120	49	52	47
Factor de estabilidad	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904
Estabilidad (lbs.)	1461	1450	1308	534	567	512
Estabilidad ajustada (lbs.)	1593	1726	1426	556	567	512
Estabilidad ajustada promedio (lbs.)	1582			545		
Pérdida de estabilidad (lbs.)	66					
Flujo	12	14	14	12	13	11
Flujo promedio	13			12		
Contenido de Humedad						
Peso de la muestra fallada (gr.)	421.5	424.5	394.9	655.1	714.3	671.2
Peso de la muestra fallada seca (gr.)	417.0	420.2	390.9	628.5	684.8	647.4
Peso de tara (gr.)	98.2	109.4	101.9	107.9	105.0	180.0
Contenido de humedad (%)	1.34	1.32	1.32	4.86	4.84	4.85
Contenido de humedad promedio (%)	1.33			4.85		
Humedad absorbida (%)	—			-3.52		
Vacios totales máximos (%)	9.54	9.25	9.45	—	—	—
Vacios total máximo promedio (%)	9.41			—		

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-46 Marshall modificado para 9% de contenido de emulsión – Mezcla tipo II.

MARSHALL MODIFICADO			
Asfalto		Agregado	
Tipo y Grado	CSS-1h-SBR	Identificación de fuente	Carretera Central Tramo San Mateo - La Oroya
Emulsión (%)	9.0		
Asfalto en emulsión (%)	63.7	Tipo	50%RAP + 50%Agregado
Gravedad específica del asfalto	1.100	Grav. Esp. Bulk	2.307
Asfalto residual en mezcla (%)	5.73	Humedad (%)	0.5

Mezcla y Compactación		Prueba				
Agua total en la mezcla (%)	9.0	Temperatura (°C)	21.5	Humedad relativa (%)	71	
Agua agregada (gr.)	85	Fecha de ensayo de muestra seca		17/07/2006		
Agua al compactar (%)	3.6	Fecha de rotación muestra inmersa		22/07/2006		
Fecha de compactación	14/07/2006	Fecha de ensayo de la muestra húmeda		24/07/2006		
Datos de la Muestra Compactada	Seca			Húmeda		
	A	B	C	D	E	F
<i>Densidad Bulk</i>						
Peso en el aire (gr.)	1057.2	1058.7	1060.1	1102.1	1105.2	1094.4
Peso en el agua (gr.)	560.5	559.4	552.5	580.4	582.5	575.4
Peso superficialmente seco	1084.8	1082.2	1076.5	1109.6	1113.5	1101.3
Volumen de la briqueta mas parafina (cm ³)	496.7	499.3	507.6	521.7	522.7	519.0
Peso de la parafina (gr.)	27.6	23.5	16.4	7.5	8.3	6.9
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Volumen de la parafina (cm ³)	30.6	26.1	18.2	8.3	9.2	7.7
Volumen de la briqueta (cm ³)	466.1	473.2	489.4	513.4	513.5	511.3
Densidad bulk de muestra compacta (gr./cm ³)	2.016	2.025	2.023	2.083	2.081	2.081
Densidad bulk de muestra compacta seca (gr./cm ³)	1.997	1.994	1.994	2.006	2.004	2.004
Densidad bulk promedio de muestra compacta seca (gr./cm ³)	1.995			2.005		
Espesor (cm.)	6.65	6.75	6.45	6.42	6.58	6.31
Diámetro (cm.)	10.3	10.17	10.25	10.19	10.24	10.33
<i>Estabilidad y Flujo</i>						
Lectura del dial	96	101	104	71	73	71
Factor de estabilidad	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904
Estabilidad (lbs.)	1051	1101	1134	774	794	774
Estabilidad ajustada (lbs.)	1251	1255	1236	774	794	774
Estabilidad ajustada promedio (lbs.)	1247			781		
Pérdida de estabilidad (lbs.)	37					
Flujo	15	13	15	14	13	12
Flujo promedio	14			13		
<i>Contenido de Humedad</i>						

Peso de la muestra fallada (gr.)	619.9	659.4	597.8	633.3	673.1	600.5
Peso de la muestra fallada seca (gr.)	615.1	651.2	591.1	615.8	651.0	581.2
Peso de tara (gr.)	151.4	145.1	147.9	184.2	109.5	103.3
Contenido de humedad (%)	0.98	1.54	1.44	3.83	3.86	3.82
Contenido de humedad promedio (%)	1.32			3.84		
Humedad absorbida (%)	—			-2.52		
Vacios totales máximos (%)	8.26	8.35	8.35	—	—	—
Vacios total máximo promedio (%)	8.32			—		

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-47 Marshall modificado para 10% de contenido de emulsión – Mezcla tipo II.

MARSHALL MODIFICADO						
Asfalto		Agregado				
Tipo y Grado	CSS-1h-SBR	Identificación de fuente	Carretera Central Tramo San Mateo - La Oroya			
Emulsión (%)	10.0					
Asfalto en emulsión (%)	63.7	Tipo	50%RAP + 50%Agregado			
Gravedad específica del asfalto	1.100	Grav. Esp. Bulk	2.307			
Asfalto residual en mezcla (%)	6.37	Humedad (%)	0.5			
Mezcla y Compactación		Prueba				
Agua total en la mezcla (%)	9.0	Temperatura (°C)	21.5	Humedad relativa (%)	71	
Agua agregada (gr.)	85	Fecha de ensayo de muestra seca	17/07/2006			
Agua al compactar (%)	3.6	Fecha de rotación muestra inmersa	22/07/2006			
Fecha de compactación	14/07/2006	Fecha de ensayo de la muestra húmeda	24/07/2006			
Datos de la Muestra Compactada		Seca			Húmeda	
		A	B	C	D	E
Densidad Bulk						
Peso en el aire (gr.)	1072.0	1084.5	1077.6	1085.0	1095.9	1085.2
Peso en el agua (gr.)	572.8	571.4	568.3	571.4	580.2	574.6
Peso superficialmente seco	1087.4	1095.8	1088.8	1094.5	1105.1	1093.3
Volumen de la briqueta mas parafina (cm ³)	499.2	513.1	509.3	513.6	515.7	510.6
Peso de la parafina (gr.)	15.4	11.3	11.2	9.5	9.2	8.1
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Volumen de la parafina (cm ³)	17.1	12.5	12.4	10.5	10.2	9.0

Volumen de la briqueta (cm ³)	482.1	500.6	496.9	503.1	505.5	501.6
Densidad bulk de muestra compacta (gr./cm ³)	2.083	2.068	2.070	2.074	2.088	2.092
Densidad bulk de muestra compacta seca (gr./cm ³)	2.027	2.026	2.020	2.007	2.020	2.023
Densidad bulk promedio de muestra compacta seca (gr./cm ³)	2.025			2.017		
Espesor (cm.)	6.75	6.58	6.47	6.4	6.59	6.24
Diámetro (cm.)	10.21	10.2	10.25	10.35	10.17	10.25
Estabilidad y Flujo						
Lectura del dial	82	89	90	84	84	85
Factor de estabilidad	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904
Estabilidad (lbs.)	889	970	981	916	916	921
Estabilidad ajustada (lbs.)	1013	1009	1021	953	953	958
Estabilidad ajustada promedio (lbs.)	1014			954		
Pérdida de estabilidad (lbs.)	6					
Flujo	16	15	15	15	12	14
Flujo promedio	15			14		
Contenido de Humedad						
Peso de la muestra fallada (H) (gr.)	797.6	647.2	766.9	647.6	596.6	584.4
Peso de la muestra fallada seca (I) (gr.)	780.8	636.3	752.1	631.4	580.3	567.2
Peso de tara (J) (gr.)	199.2	132.2	188.8	178.2	120.5	92.2
Contenido de humedad (K) (%)	2.75	2.06	2.50	3.36	3.33	3.40
Contenido de humedad promedio (%)	2.44			3.37		
Humedad absorbida (%)	—			-0.93		
Vacios totales máximos (%)	6.20	6.29	6.57	—	—	—
Vacios total máximo promedio (%)	6.35			—		

Fuente: Análisis en laboratorio.

Tabla 7-48 Marshall modificado para 11% de contenido de emulsión – Mezcla tipo II.

MARSHALL MODIFICADO			
Asfalto		Agregado	
Tipo y Grado	CSS-1h-SBR	Identificación de fuente	Carretera Central Tramo San Mateo - La Oroya
Emulsión (%)	11.0		
Asfalto en emulsión (%)	63.7	Tipo	50%RAP + 50%Agregado

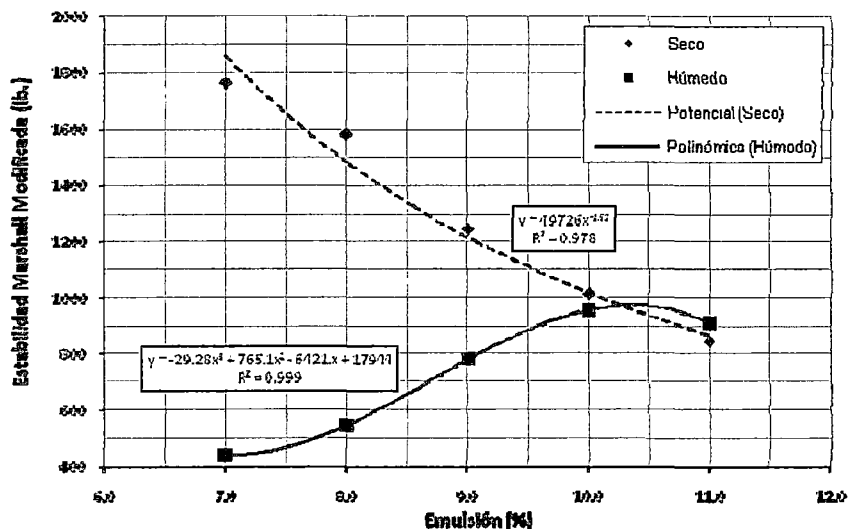
Gravedad específica del asfalto	1.100	Grav. Esp. Bulk	2.307				
Asfalto residual en mezcla (%)	7.01	Humedad (%)	0.5				
Mezcla y Compactación			Prueba				
Agua total en la mezcla (%)	9.0	Temperatura (°C)	21.5	Humedad relativa (%)	71		
Agua agregada (gr.)	85	Fecha de ensayo de muestra seca	17/07/2006				
Agua al compactar (%)	3.6	Fecha de rotación muestra inmersa	22/07/2006				
Fecha de compactación	14/07/2006	Fecha de ensayo de la muestra húmeda	24/07/2006				
Datos de la Muestra Compactada							
		Seca			Húmeda		
		A	B	C	D	E	F
Densidad Bulk							
Peso en el aire (gr.)	1078.8	1076.4	1070.0	1089.2	1053.3	1083.3	
Peso en el agua (gr.)	575.9	574.0	573.0	570.0	552.0	568.5	
Peso superficialmente seco	1097.5	1089.9	1089.2	1098.7	1061.5	1093.2	
Volumen de la briqueta mas parafina (cm ³)	502.9	502.4	497.0	519.2	501.3	514.8	
Peso de la parafina (gr.)	18.7	13.5	19.2	9.5	8.2	9.9	
Peso específico de la parafina (gr./cm ³)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
Volumen de la parafina (cm ³)	20.8	15.0	21.3	10.5	9.1	11.0	
Volumen de la briqueta (cm ³)	482.1	487.4	475.7	508.7	492.2	503.8	
Densidad bulk de muestra compacta (gr./cm ³)	2.068	2.086	2.073	2.060	2.067	2.065	
Densidad bulk de muestra compacta seca (gr./cm ³)	2.022	2.038	2.032	2.009	2.016	2.012	
Densidad bulk promedio de muestra compacta seca (gr./cm ³)	2.031			2.012			
Espesor (cm.)	6.85	6.43	6.72	6.56	6.32	6.69	
Diámetro (cm.)	10.21	10.22	10.23	10.15	10.21	10.2	
Estabilidad y Flujo							
Lectura del dial	68	70	69	83	77	80	
Factor de estabilidad	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904	10.904	
Estabilidad (lbs.)	741	765	752	905	840	872	
Estabilidad ajustada (lbs.)	845	834	858	905	915	907	
Estabilidad ajustada promedio (lbs.)	846			909			
Pérdida de estabilidad (lbs.)	-7						
Flujo	17	17	17	15	16	15	

Flujo promedio	17			15		
<i>Contenido de Humedad</i>						
Peso de la muestra fallada (gr.)	642.0	582.2	582.7	614.6	710.8	621.2
Peso de la muestra fallada seca (gr.)	629.3	570.2	572.7	602.7	696.4	606.9
Peso de tara (gr.)	97.0	94.8	99.6	169.0	165.5	95.0
Contenido de humedad (%)	2.27	2.40	2.01	2.56	2.53	2.61
Contenido de humedad promedio (%)	2.23			2.57		
Humedad absorbida (%)	—			-0.34		
Vacios totales máximos (%)	5.91	5.20	5.48	—	—	—
Vacios total máximo promedio (%)	5.53			—		

Fuente: Análisis en laboratorio.

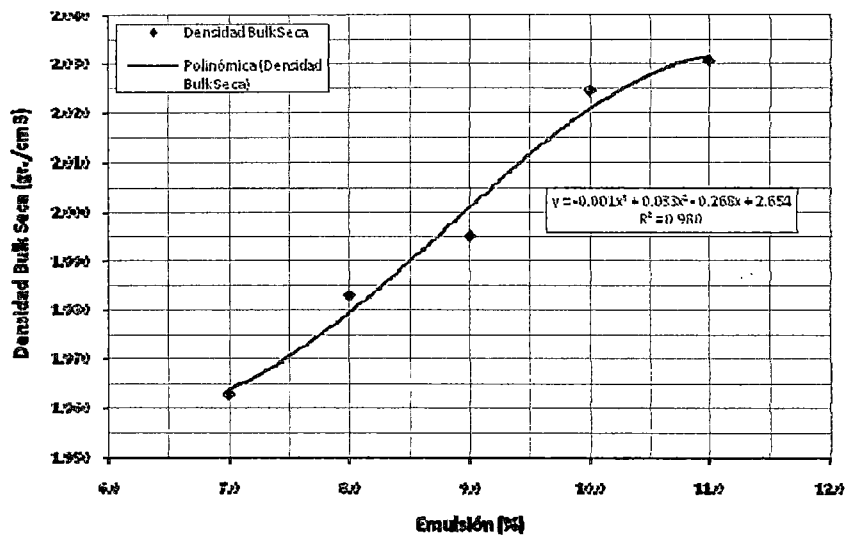
De las tablas 7-44, 7-45, 7-46, 7-47 y 7-48, se obtienen las gráficas siguientes:

Figura 7-19 Curva de estabilidad – Mezcla tipo II.



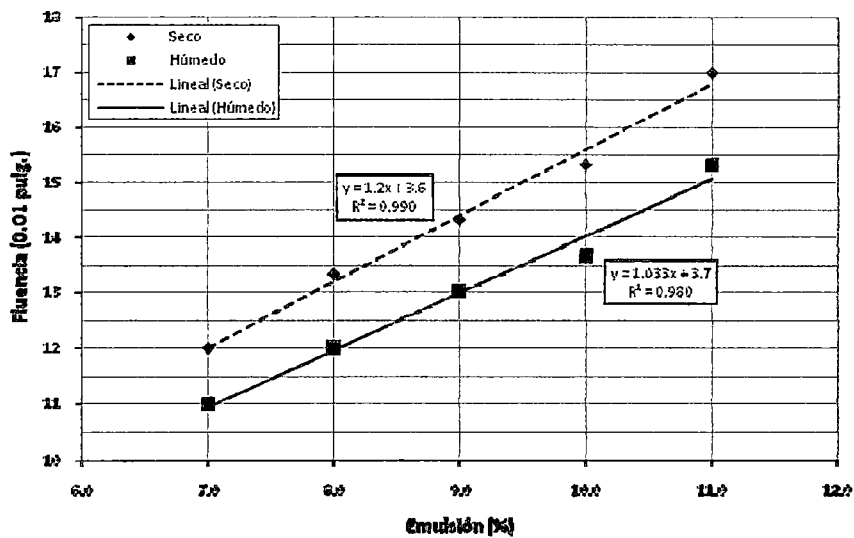
Fuente: Análisis en laboratorio.

Figura 7-20 Curva de densidad bulk – Mezcla tipo II.



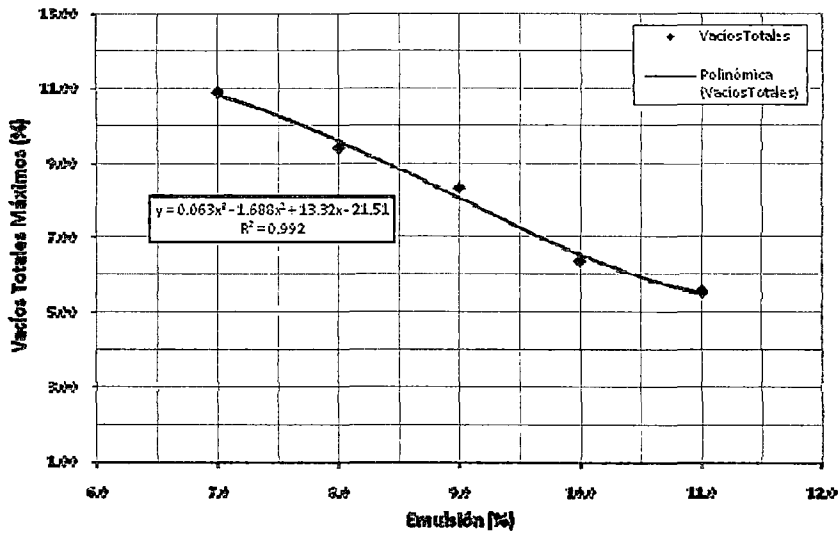
Fuente: Análisis en laboratorio.

Figura 7-21 Curva de flujo – Mezcla tipo II.



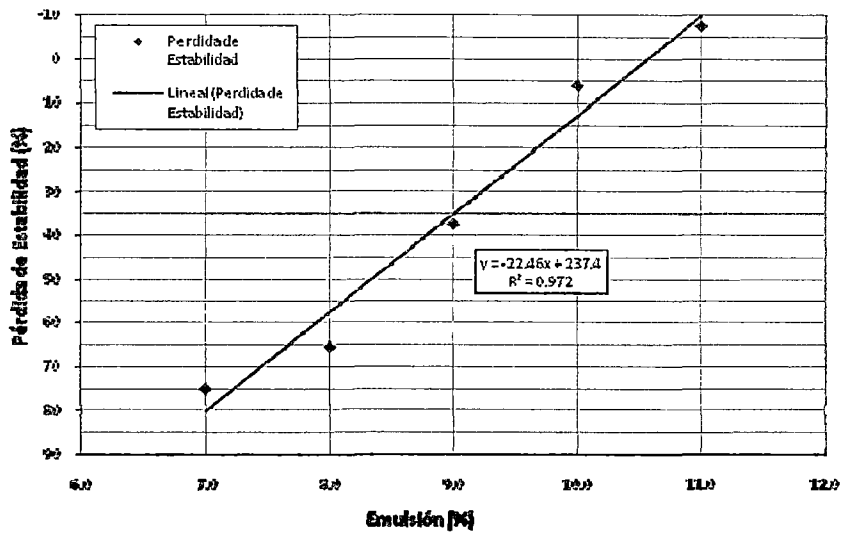
Fuente: Análisis en laboratorio.

Figura 7-22 Curva de vacíos – Mezcla tipo II.



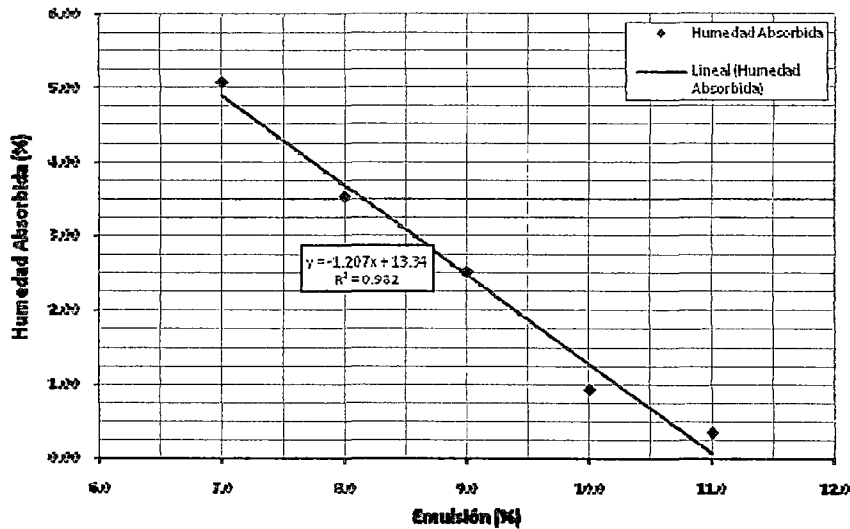
Fuente: Análisis en laboratorio.

Figura 7-23 Curva de variación de estabilidad – Mezcla tipo II.



Fuente: Análisis en laboratorio.

Figura 7-24 Curva de absorción de humedad – Mezcla tipo II.



Fuente: Análisis en laboratorio.

Los certificados de laboratorio que sustentan estos resultados, puede observarse en el Anexo B.

De las figuras 7-13, 7-14, 7-15, 7-16, 7-17, 7-18, 7-19, 7-20, 7-21, 7-22, 7-23 y 7-24, se obtiene el óptimo contenido de emulsión para cada tipo de mezcla, y con ese valor se obtienen sus propiedades físico – mecánicas respectivas. Estos valores han sido contrastados con las especificaciones técnicas establecidas en el cuadro 5-10, obteniéndose la tabla de resultados siguiente:

Tabla 7-49 Calidad de las mezclas asfálticas recicladas.

Propiedades	Resultado		Parámetro de Calidad		Evaluación	
	Mezcla Tipo I	Mezcla Tipo II	Mín.	Máx.	Mezcla Tipo I	Mezcla Tipo II
Óptimo Contenido de emulsión (%)	9.5	10.4	—	—	—	—
Estabilidad Seca (lb.)	1501	960	500	—	Si cumple	Si cumple
Estabilidad Húmeda (lb.)	1155	974				
Pérdida de Estabilidad (%)	24	5	—	50	Si cumple	Si cumple
Fluencia (0.01 pulg.)	13	14	8	14	Si cumple	Si cumple
Vacios Totales (%)	3.5	6.1	2	8	Si cumple	Si cumple
Humedad absorbida (%)	2.67	0.83	—	4	Si cumple	Si cumple
Recubrimiento del Agregado (%)	80	80	50	—	Si cumple	Si cumple

Fuente: Análisis en laboratorio.

8.0 ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

Con la información obtenida en el capítulo anterior, se procederá a diseñar el pavimento por el método AASHTO.

El método AASHTO, toma la información proveniente de la Guide for Design of Paviment Structures, edición 1993, que se basa en el valor de C.B.R. de la subrasante y del número de ejes equivalentes futuros para determinar el número estructural de diseño.

La fórmula general que gobierna el número estructural de diseño, presenta la expresión siguiente:

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}_{10}(MR) - 8.07$$

Donde:

- W18 : Número proyectado de carga equivalente de 18 kip (18000 lb) de aplicación de carga axial simple.
- Zr : Desviación estándar normal.
- So : Error estándar combinado del tráfico proyectado y del comportamiento proyectado.
- ΔPSI : Diferencia entre índice de serviciabilidad inicial (Po) y el índice de serviciabilidad final (Pt).
- MR : Módulo resiliente (psi).
- SN : Número estructural indicativo del espesor total del pavimento requerido.

Del procesamiento iterativo de la fórmula, se obtiene el número estructural requerido (SN_{REQ}), que permite encontrar la estructura del camino de modo que soporte las cargas proyectadas. El número estructural de refuerzo (SN_{REF}) será la diferencia del número estructural requerido y el número estructural ofrecido por el camino existente (SN_{EFF}).

Los espesores finales de la superficie de rodadura, refuerzo o estructura recomendada, se determinan empleando la expresión propuesta, la cual comprende coeficientes de transformación para cada tipo de capa. Para la transformación del número estructural, en capas granulares y superficie de rodadura, se emplea la expresión siguiente:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Donde:

a_i : Coeficiente de transformación de la capa "i"

D_i : Espesor de la capa "i"

m_i : Coeficiente de drenaje de la capa "i"

Con la finalidad de procesar iterativamente la fórmula indicada, se dividió el análisis por componentes. Estas componentes son de fácil proceso y permitieron establecer los valores en una hoja de cálculo que se presenta y cuyas partes tienen la expresión siguiente:

$$K_1 = \text{Log}_{10}(W_{18}) - Z_r * S_o + 0.20 + 8.07$$

$$K_2 = \text{Log}_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]$$

$$K_3 = 2.32 * \text{Log}_{10}(MR)$$

Donde:

Según AASHTO; para base granular con CBR < 10%

$MR(\text{psi}) = 1.500 * \text{CBR}$;

Instituto de Aeronáutica De Brasil; para CBR de 4 a 48%

$\text{CBR}_{sr} (\text{MPa}) = 0.0624 * (\text{MR}_{sr})^{1.176}$

Sabiendo que:

1 psi = 0.07 kgf/cm² = 0.007 MPa

1 kgf/cm² = 0.1 MPa = 14.22 psi

Finalmente se empleó la fórmula:

$$MR_{sr} = \frac{\left[\frac{\text{CBR}}{0.0624} \right]^{\frac{1}{1.176}}}{0.007} (\text{psi})$$

Luego de reemplazar y despejar, la ecuación general de AASHTO, quedó de la manera siguiente:

$$K_1 - K_3 = 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1) + \frac{K_2}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

Si, se hace:

$$J_1 = 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1)$$

y además:

$$J_2 = \frac{K_2}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

Por igualdad se debió cumplir que:

$$K_1 - K_3 = J_1 + J_2;$$

o también

$$(K_1 - K_3) - (J_1 + J_2) = 0$$

Esta última expresión, permite efectuar las iteraciones hasta cumplir la igualdad y por lo tanto encontrar el SN_{REQ} .

Para el proyecto de rehabilitación, se emplearon los parámetros de diseño siguientes:

Cuadro 8-1 Parámetros de diseño.

Parámetro	Valor
Período de Diseño (años)	20
Nivel de Confianza	95%
Desviación Estándar Normal (Z_r)	-1.645
Error Estándar (S_o)	0.45
Serviciabilidad Inicial (P_o)	4.0
Serviciabilidad Final (P_t)	2.5

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Además, los coeficientes estructurales y drenaje de diseño fueron los siguientes:

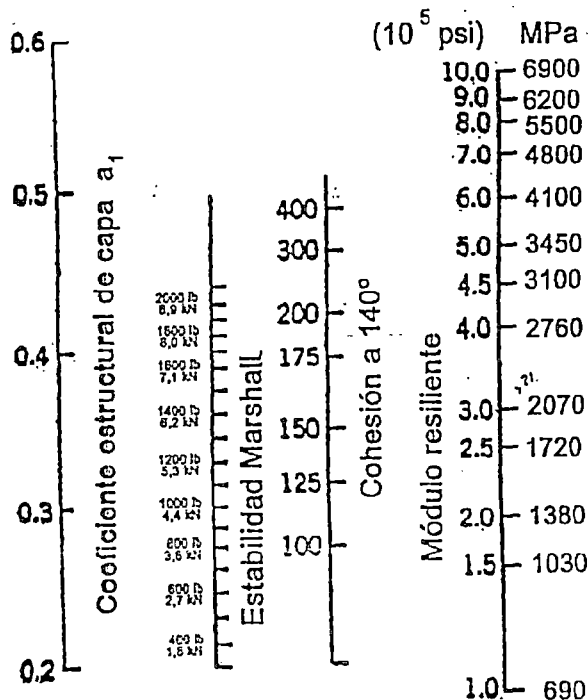
Cuadro 8-2 Coeficientes estructurales y de drenaje.

Capa	Coeficiente	
	Estructural	Drenaje
Concreto Asfáltico en Caliente	0.44	—
Base Granular	0.14	0.9
Sub-Base Granular	0.11	0.9

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Para el caso de la mezcla asfáltica reciclada, su coeficiente estructural se obtendrá mediante la Guide for Design of Paviment Structures, edición 1993, que correlaciona los factores estructurales de las capas asfálticas con sus respectivas propiedades, y puede observarse en la gráfica siguiente:

Figura 8-1 Coeficientes estructurales de mezclas asfálticas.



Fuente: Guide for Design of Pavment Structures (Ed. 1993)-AASHTO.

De la tabla 7-49, se deduce que la mezcla asfáltica reciclada Tipo I es la más conveniente para el proyecto de rehabilitación, por la buena estabilidad Marshall que este tipo de mezcla ofrece; este valor se contrasta en la figura 8-1 y se obtiene el coeficiente estructural igual a 0.38.

Con los conceptos expuestos anteriormente y utilizando los resultados obtenidos en la evaluación deflectométrica del pavimento (ver cuadro 7-15), estudio de tráfico (ver cuadro 7-27), se obtiene el SN_{EFF} para cada sector homogéneo (ver cuadro 7-4), el cual se muestra a continuación.

Cuadro 8-3 Número estructural efectivo en función del MR.

Sección	(1) Carp. Asf. (cm.)	(2) Coef. Est. (a_1)	(3) Base Gran. (cm.)	(4) Coef. Est. (a_2)	(5) Sub- Base Gran. (cm.)	(6) Coef. Est. (a_3)	(7) Espesor Total (cm.)	(8) Coef. Est. Pond. (1/pulg.)	(9) Espesor Equiv. (cm.)	(10) SN_{EFF}
1	12.0	0.40	25.0	0.12	0.0	0.10	37.0	0.21	42.8	3.55
2	17.0	0.40	20.0	0.12	0.0	0.10	37.0	0.25	39.5	3.87

Sección	(1) Carp. Asf. (cm.)	(2) Coef. Est. (a ₁)	(3) Base Gran. (cm.)	(4) Coef. Est. (a ₂)	(5) Sub- Base Gran. (cm.)	(6) Coef. Est. (a ₃)	(7) Espesor Total (cm.)	(8) Coef. Est. Pond. (1/pulg.)	(9) Espesor Equiv. (cm.)	(10) SN _{EFF}
3	20.0	0.40	20.0	0.12	20.0	0.10	60.0	0.21	53.3	4.34
4	15.0	0.40	20.0	0.12	0.0	0.10	35.0	0.24	28.1	2.66
5	20.0	0.40	20.0	0.12	0.0	0.10	40.0	0.26	30.3	3.10
6	15.0	0.40	25.0	0.12	0.0	0.10	40.0	0.23	25.8	2.29
7	20.0	0.40	20.0	0.12	0.0	0.10	40.0	0.26	42.7	4.37
8	15.0	0.40	40.0	0.12	0.0	0.10	55.0	0.20	49.7	3.84
9	20.0	0.40	20.0	0.12	20.0	0.10	60.0	0.21	52.2	4.25
10	20.0	0.40	20.0	0.12	20.0	0.10	60.0	0.21	56.8	4.62
11	15.0	0.40	20.0	0.12	20.0	0.10	55.0	0.19	40.6	3.02
12	10.0	0.40	25.0	0.12	0.0	0.10	35.0	0.20	33.1	2.61
13	15.0	0.40	20.0	0.12	20.0	0.10	55.0	0.19	49.0	3.65
14	15.0	0.40	20.0	0.12	20.0	0.10	55.0	0.19	44.4	3.31
15	15.0	0.40	30.0	0.12	0.0	0.10	45.0	0.21	31.0	2.60
16	13.0	0.40	30.0	0.12	0.0	0.10	43.0	0.20	29.6	2.38
17	13.0	0.40	30.0	0.12	0.0	0.10	43.0	0.20	32.7	2.63
18	10.0	0.40	25.0	0.12	0.0	0.10	35.0	0.20	28.8	2.27

Notas:

(1)(3)(5) Espesores geométricos de las capas del pavimento existente

(2)(4)(6) Coeficientes estructurales de los materiales originales

(7) Espesor geométrico total del pavimento

(8) Coeficiente estructural ponderado del pavimento original $\frac{((1) \times (2) + (3) \times (4) + (5) \times (6))}{(7)} / 2.54$

(9) Espesor Equivalente o Espesor Efectivo del pavimento actual, evaluado mediante el análisis con modelo de Hogg y Burmister.

(10) Número Estructural Efectivo del pavimento, que refleja el comportamiento estructural actual del conjunto de capas interactuantes que conforman el pavimento. $(8) \times (9) / 2.54$

Todos los espesores se convierten a pulgadas.

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Por lo tanto, los SN_{REQ} y SN_{REF} en cada sector homogéneo se muestra a continuación.

Cuadro 8-4 Número estructura requerido y de refuerzo del pavimento f(MR).

Sección	Progresiva (km.)		Modulo Resiliente (KSI)	SN _{REQ}	SN _{EFF}	SN _{REF}	Espesor de Refuerzo (cm.)
	Inicio	Fin					
1	97+000	101+000	21.5	4.43	3.55	0.9	5.1
2	101+000	104+500	21.5	4.43	3.87	0.6	3.3
3	104+500	110+000	21.5	4.43	4.34	0.1	0.5
4	110+000	112+500	20.2	4.53	2.66	1.9	10.8
5	112+500	114+000	20.2	4.53	3.10	1.4	8.2
6	114+000	117+500	20.2	4.53	2.29	2.2	13.0
7	117+500	121+800	19.7	4.57	4.37	0.2	1.1
8	121+800	127+300	13.9	5.16	3.84	1.3	7.6
9	127+300	128+600	38.8	3.53	4.25	-0.7	0.0
10	128+600	135+300	20.0	4.55	4.62	-0.1	0.0
11	135+300	139+000	15.6	4.96	3.02	1.9	11.2
12	139+000	142+500	15.6	4.96	2.61	2.4	13.6
13	142+500	145+000	17.1	4.81	3.65	1.2	6.7
14	145+000	151+800	16.5	4.87	3.31	1.6	9.0
15	151+800	158+000	23.6	4.28	2.60	1.7	9.7
16	158+000	163+200	23.6	4.28	2.38	1.9	10.9
17	163+200	172+100	24.6	4.21	2.63	1.6	9.1
18	172+100	175+800	15.1	5.02	2.27	2.8	15.9

Notas:
Espesores de refuerzo en centímetros de concreto asfáltico.

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Si se considera los valores de C.B.R. que ofrece la sub-rasante (ver cuadro 7-2), el SN_{EFF} para cada sector homogéneo sería igual a:

Cuadro 8-5 Número estructural efectivo en función del CBR.

Sección	(1) Carp. Asf. (cm.)	(2) Coef. Est. (a ₁)	(3) Base Gran. (cm.)	(4) Coef. Est. (a ₂)	(5) Sub-Base Gran. (cm.)	(6) Coef. Est. (a ₃)	(7) SN _{EFF}
1	12.0	0.35	25.0	0.12	0.0	0.10	2.83

Sección	(1) Carp. Asf. (cm.)	(2) Coef. Est. (a ₁)	(3) Base Gran. (cm.)	(4) Coef. Est. (a ₂)	(5) Sub-Base Gran. (cm.)	(6) Coef. Est. (a ₃)	(7) SN _{EFF}
2	17.0	0.35	20.0	0.12	0.0	0.10	3.29
3	20.0	0.35	20.0	0.12	20.0	0.10	4.49
4	15.0	0.35	20.0	0.12	0.0	0.10	3.01
5	20.0	0.35	20.0	0.12	0.0	0.10	3.70
6	15.0	0.35	25.0	0.12	0.0	0.10	3.25
7	20.0	0.35	20.0	0.12	0.0	0.10	3.70
8	15.0	0.35	40.0	0.12	0.0	0.10	3.96
9	20.0	0.35	20.0	0.12	20.0	0.10	4.49
10	20.0	0.35	20.0	0.12	20.0	0.10	4.49
11	15.0	0.35	20.0	0.12	20.0	0.10	3.80
12	10.0	0.35	25.0	0.12	0.0	0.10	2.56
13	15.0	0.35	20.0	0.12	20.0	0.10	3.80
14	15.0	0.35	20.0	0.12	20.0	0.10	3.80
15	15.0	0.35	30.0	0.12	0.0	0.10	3.48
16	13.0	0.35	30.0	0.12	0.0	0.10	3.21
17	13.0	0.35	30.0	0.12	0.0	0.10	3.21
18	10.0	0.35	25.0	0.12	0.0	0.10	2.56

Notas:
 (1)(3)(5) Espesores geométricos de las capas del pavimento existente
 (2)(4)(6) Coeficientes estructurales de los materiales actuales, asumidos de acuerdo al estado de deterioro o contaminación
 (7) Número Estructural Efectivo del pavimento actual $(1) \times (2) + (3) \times (4) + (5) \times (6)$
 Todos los espesores se convierten a pulgadas.

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Por lo tanto, los SN_{REQ} y SN_{REF} en cada sector homogéneo se muestra a continuación.

Cuadro 8-6 Número estructural requerido y de refuerzo del pavimento f(CBR).

Sección	Progresiva (km.)		Modulo Resiliente (KSI)	SN _{REQ}	SN _{EFF}	SN _{REF}	Espesor de Refuerzo (cm.)
	Inicio	Fin					
1	97+000	101+000	16.4	4.88	2.83	2.0	11.8

Sección	Progresiva (km.)		Modulo Resiliente (KSI)	SN _{REQ}	SN _{EFF}	SN _{REF}	Espesor de Refuerzo (cm.)
	Inicio	Fin					
2	101+000	104+500	16.4	4.88	3.29	1.6	9.2
3	104+500	110+000	16.4	4.88	4.49	0.4	2.3
4	110+000	112+500	16.4	4.88	3.01	1.9	10.8
5	112+500	114+000	16.4	4.88	3.70	1.2	6.8
6	114+000	117+500	16.4	4.88	3.25	1.6	9.4
7	117+500	121+800	16.4	4.88	3.70	1.2	6.8
8	121+800	127+300	16.4	4.88	3.96	0.9	5.3
9	127+300	128+600	16.4	4.88	4.49	0.4	2.3
10	128+600	135+300	16.4	4.88	4.49	0.4	2.3
11	135+300	139+000	16.4	4.88	3.80	1.1	6.2
12	139+000	142+500	16.4	4.88	2.56	2.3	13.4
13	142+500	145+000	16.4	4.88	3.80	1.1	6.2
14	145+000	151+800	16.4	4.88	3.80	1.1	6.2
15	151+800	158+000	16.4	4.88	3.48	1.4	8.1
16	158+000	163+200	16.4	4.88	3.21	1.7	9.6
17	163+200	172+100	16.4	4.88	3.21	1.7	9.6
18	172+100	175+800	16.4	4.88	2.56	2.3	13.4

Notas:
Espesores de refuerzo en centímetros de concreto asfáltico.

Fuente: Estudio Definitivo PCI - CESEL.

Con fines de diseño la estructura del pavimento será aquella que considere los valores de soporte que ofrece la sub-rasante, debido a que esta metodología asemeja las condiciones en las que se encuentra el suelo sub-rasante.

8.1.1 Diseño Convencional

La estructura del pavimento estará compuesto por:

- Capa de refuerzo: Compuesto por mezcla asfáltica en caliente, con espesor igual a 7.5 cm.
- Capa nivelante: Compuesto por mezcla asfáltica en caliente, con espesores que varían entre 15 cm. y 17.5 cm.
- Base granular: Se mantiene el material y espesor del pavimento anterior.

- Sub-base granular: Se mantiene el material y espesor del pavimento anterior. A manera de ejemplo, se ha empleado una hoja de cálculo para obtener los números estructurales y el diseño de su estructura de un determinado sector.

Tabla 8-1 Estructura del pavimento – Método convencional.

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 93 ^{WGL}					
Proyecto :	Reciclado en Frío de Pavimentos Flexibles con el Uso de Emulsiones Asfálticas Catiónicas				
Carretera :	Héroes de la Breña, Tramo 4: San Mateo - La Oroya, Sector: 145+000 - 172+000				
Ingreso de Datos					
	Proyección :	20 años			
	W18 :	29,797,105			
	Zr :	-1.645			
	So :	0.45			
	Po :	4.0			
	Pt :	2.5			
	CBR de diseño :	16.60			
	Mrsr (psi) :	16478 (Instituto de Aeronáutica de Brasil)			
DETERMINACION DE CONSTANTES					
	K1	K2	K3	K1-K3	
	16.4844	-0.2553	9.7832	6.7012	
ITERACION	SN	J1	J2	J1+J2	CONTROL
1	4.869	7.1938	-0.4983	6.6954	0.0058
2	4.870	7.1945	-0.4984	6.6960	0.0052
3	4.871	7.1951	-0.4985	6.6966	0.0046
4	4.872	7.1958	-0.4986	6.6972	0.0040
5	4.873	7.1965	-0.4987	6.6978	0.0034
6	4.874	7.1972	-0.4988	6.6984	0.0028
7	4.875	7.1979	-0.4989	6.6990	0.0022
8	4.876	7.1986	-0.4990	6.6996	0.0016
9	4.877	7.1993	-0.4991	6.7002	0.0010

10	4.879	7.2005	-0.4993	6.7012	0.0000	
SN_{REQ}	4.879					
SN_{EFF}	3.799					
SN_{REF}	1.079					
ALTERNATIVA DE DISEÑO	Espesor		coef/pulg.	SN	Remanente	
	(cm.)	pulg.				
Capa de Rodadura (Refuerzo)	7.5	3	0.44	1.32	-0.241	
Capa Nivelante	5.0	6	0.44	0.88	-1.121	
Base Granular	0.0	0	0.14	0	-1.121	
Sub - Base Granular	0.0	0	0.11	0	-1.121	
Espesor Total de Refuerzo	12.5 cm.					
Espesor Total de Pavimento	47.5 cm.					

Fuente: Hoja de Cálculo – Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares.

8.1.2 Diseño Propuesto

La estructura del pavimento estará compuesto por:

- Capa de refuerzo: Compuesto por mezcla asfáltica en caliente, con espesor igual a 2.5 cm.
- Capa nivelante: Compuesto por mezcla asfáltica reciclada en frío con emulsiones asfálticas, con espesor máximo de 15 cm.
- Base granular: Se mantiene el material y espesor del pavimento anterior.
- Sub-base granular: Se mantiene el material y espesor del pavimento anterior.

De igual forma que el pavimento anterior, empleando la misma hoja de cálculo se obtendrá los números estructurales del mismo sector y a su vez el diseño de su estructura.

Tabla 8-2 Estructura del pavimento – Método propuesto.

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 93 ^{WGL}					
Proyecto :	Reciclado en Frío de Pavimentos Flexibles con el Uso de Emulsiones Asfálticas Catiónicas				
Carretera :	Héroes de la Breña, Tramo 4: San Mateo - La Oroya, Sector: 145+000 - 172+000				
Ingreso de Datos					
Proyección :	20 años				
W18 :	29,797,105				
Zr :	-1.645				
So :	0.45				
Po :	4.0				
Pt :	2.5				
CBR de diseño :	16.60				
Mrsr (psi) :	16478 (Instituto de Aeronáutica de Brasil)				
DETERMINACION DE CONSTANTES					
	K1	K2	K3	K1-K3	
	16.4844	-0.2553	9.7832	6.7012	
ITERACION	SN	J1	J2	J1+J2	CONTROL
1	4.869	7.1938	-0.4983	6.6954	0.0058
2	4.870	7.1945	-0.4984	6.6960	0.0052
3	4.871	7.1951	-0.4985	6.6966	0.0046
4	4.872	7.1958	-0.4986	6.6972	0.0040
5	4.873	7.1965	-0.4987	6.6978	0.0034
6	4.874	7.1972	-0.4988	6.6984	0.0028
7	4.875	7.1979	-0.4989	6.6990	0.0022
8	4.876	7.1986	-0.4990	6.6996	0.0016
9	4.877	7.1993	-0.4991	6.7002	0.0010
10	4.879	7.2005	-0.4993	6.7012	0.0000
SN_{REQ}	4.879				
SN_{EFF}	3.799				

SN _{REF}	1.079				
ALTERNATIVA DE DISEÑO	Espesor		coef/pulg.	SN	Remanente
	(cm.)	pulg.			
Capa de Rodadura (Refuerzo)	2.5	1	0.44	0.44	0.639
Capa Nivelante	10.0	6	0.38	1.52	-0.881
Base Granular	0.0	0	0.14	0	-0.881
Sub - Base Granular	0.0	0	0.11	0	-0.881
Espesor Total de Refuerzo	12.5 cm.				
Espesor Total de Pavimento	42.5 cm.				

Fuente: Hoja de Cálculo – Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares.

Cabe resaltar, que debido a que el material RAP proviene del fresado de la carpeta asfáltica del tramo comprendido entre las progresivas Km. 135 + 000 y Km. 172 + 000, además del estudio de canteras (ver ítem 3.1), se concluyó que el material de la cantera Cut – Off serviría para el tramo comprendido entre las progresivas Km. 145 + 000 y Km. 176 + 320; por lo tanto el diseño del pavimento podrá ser aplicado para el tramo comprendido entre las progresivas Km. 145 + 000 y Km. 172 + 000.

8.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Los procesos constructivos que se emplearán en la rehabilitación del pavimento, para cada alternativa de solución se muestran a continuación:

Cuadro 8-7 Alternativas de rehabilitación del pavimento.

Proceso	Alternativa de Solución	
	Convencional	Propuesto
Fresado	Se escarificará la superficie asfáltica para nivelación, con un espesor mínimo de 5 cm. y máximo a fresar de 6 cm. El fresado eliminará las fisuras longitudinales y transversales de magnitud leve, fallas que permanezcan después de fresar serán tratadas mediante trabajos de parchado superficial y parchado profundo localizados.	Se escarificará la superficie asfáltica para nivelación, con un espesor mínimo de 10 cm. El fresado eliminará las fisuras longitudinales y transversales de magnitud leve, las fallas que permanezcan después de fresar serán tratadas mediante trabajos de parchado superficial y parchado profundo localizados.

Proceso	Alternativa de Solución	
	Convencional	Propuesto
Parchado Profundo Sectorizado	<p>En los sectores severamente dañados (fallas tipo piel de cocodrilo grado severo, ahuellamiento) en un porcentaje mayor al 30% del área no se ejecutará fresado.</p> <p>En estos sectores se reemplazará la carpeta asfáltica existente y base granular, se efectuará corte con equipo mecánico de 35 cm. de profundidad, reponiéndola con base granular de 25 cm. de espesor y mezcla asfáltica en caliente de 10 cm. de espesor, sobre la que se colocará la capa de refuerzo de mezcla asfáltica en caliente de 7.5 cm. de espesor.</p>	<p>Después del fresado, se reemplazará la carpeta asfáltica existente y base granular, se efectuará corte con equipo mecánico de 30 cm. de profundidad, reponiéndola con base granular de 25 cm. de espesor y mezcla asfáltica reciclada en frío de 15 cm. de espesor, sobre la cual se apoyará la capa de refuerzo de mezcla asfáltica en caliente de 2.5 cm. de espesor.</p>
Parchado Superficial Sectorizado	<p>Si el tipo de falla corresponde a fisuras leves a moderadas en una extensión mayor a 30% del área, se eliminará, con equipo mecánico, la carpeta asfáltica existente, reemplazándola por mezcla asfáltica en caliente de 10 y 12.5 cm. de espesor según corresponda hasta alcanzar el nivel de rasante actual, previamente se colocará material de base granular en el volumen que sea necesario. Finalmente se colocará la capa de refuerzo de mezcla asfáltica en caliente de 7.5 cm de espesor.</p>	<p>Después del fresado, se eliminará, con equipo mecánico, la carpeta asfáltica existente, reemplazándola por mezcla asfáltica reciclada de 15 cm. de espesor, según corresponda hasta alcanzar el nivel de rasante actual, previamente se colocará material de base granular en el volumen que sea necesario. Finalmente se colocará la capa de refuerzo de mezcla asfáltica en caliente de 2.5 cm de espesor.</p>

Fuente: Estudio Definitivo PCI – CESEL y Elaboración propia.

Los gráficos (planos de secciones típicas) que permiten un mejor entendimiento de lo descrito en el cuadro anterior puede observarse en el Anexo A.

Del cuadro 8-7 se obtienen los metrados de las partidas involucradas en la rehabilitación del pavimento para cada alternativa; así como también su respectivo presupuesto de obra, siendo estos los que se indica en las tablas siguientes:

Tabla 8-3 Presupuesto de obra – Método convencional.

Descripción	Und.	Metrado	P.U (S/.)	Parcial (S/.)	Sub - Total (S/.)
Pavimentos					8,470,883.77
Fresado de la Carpeta Asfáltica Existente	m2	100,138.50	0.59	59,081.72	
Imprimación Asfáltica	m2	45,536.10	0.38	17,303.72	
Riego de Liga	m2	386,561.00	0.35	135,296.35	
Pavimento de Concreto Asfáltico en Caliente	m3	26,674.87	123.43	3,292,479.33	
Cemento Asfáltico					
PEN 120/150	gl	1,231,094.35	3.18	3,914,880.03	
Asfalto líquido MC-30	gl	12,978.17	3.78	49,057.48	
Asfalto líquido RC-250	gl	48,809.91	3.67	179,132.37	
Filler o relleno de mineral	kg	1,080,601.01	0.44	475,464.44	
Aditivo mejorador de adherencia	kg	11,737.70	12.14	142,495.68	
Parchado Superficial Localizado	m2	601.10	39.72	23,875.69	
Parchado Profundo Localizado	m2	3,411.20	53.3	181,816.96	
Transporte Pagado					467,063.54
Mezcla Asfáltica para d <= 1 km.	m3-km.	27,547.49	5.43	149,582.90	
Mezcla Asfáltica para d > 1 km.	m3-km.	171,058.29	1.39	237,771.02	
Eliminación de Material a Botadero para d <= 1 km.	m3-km.	6,008.31	5.43	32,625.12	
Eliminación de Material a Botadero para d > 1 km.	m3-km.	35,137.69	1.34	47,084.50	
Total (S/.)					8,937,947.31

Fuente: Estudio Definitivo PCI – CESEL y Elaboración propia.

Tabla 8-4 Presupuesto de obra – Método propuesto.

Descripción	Und.	Metrado	P.U (S/.)	Parcial (S/.)	Sub - Total (S/.)
Pavimentos					6,744,965.78
Fresado de la Carpeta Asfáltica Existente	m2	194,400.00	0.59	114,696.00	
Imprimación Asfáltica	m2	45,536.10	0.38	17,303.72	
Riego de Liga	m2	386,561.00	0.35	135,296.35	
Pavimento de Concreto Asfáltico en Caliente	m3	6,022.21	123.43	743,321.38	
Pavimento de Concreto Asfáltico Reciclado en Frío	m3	19,440.00	24.69	479,895.84	
Cemento Asfáltico					
PEN 120/150	gl	281,272.85	3.18	894,447.66	
Emulsión Asfáltica Catiónica CSS - 1h	gl	790,168.63	4.77	3,769,104.34	
Asfalto líquido MC-30	gl	12,978.17	3.78	49,057.48	
Asfalto líquido RC-250	gl	48,809.91	3.67	179,132.37	
Filler o relleno de mineral	kg	232,299.33	0.44	102,211.71	
Aditivo mejorador de adherencia	kg	4,514.52	12.14	54,806.27	
Parchado Superficial Localizado	m2	601.10	39.72	23,875.69	
Parchado Profundo Localizado	m2	3,411.20	53.3	181,816.96	
Transporte Pagado					590,684.56
Mezcla Asfáltica en caliente para $d \leq 1$ km.	m3-km.	4,860.00	5.43	26,389.80	
Mezcla Asfáltica en caliente para $d > 1$ km.	m3-km.	28,690.20	1.39	39,879.38	
Mezcla Asfáltica Reciclada en frío para $d \leq 1$ km.	m3-km.	19,440.00	5.43	105,559.20	
Mezcla Asfáltica Reciclada en frío para $d > 1$ km.	m3-km.	114,760.80	1.39	159,517.51	
Material RAP a Planta de Mezcla en Frío para $d \leq 1$ km.	m3-km.	19,440.00	5.43	105,559.20	
Material RAP a Planta de Mezcla en Frío para $d > 1$ km.	m3-km.	114,760.80	1.34	153,779.47	
Total (S/.)					7,335,650.34

Fuente: Estudio Definitivo PCI – CESEL y Elaboración propia.

De las tablas 8-3 y 8-4 se deduce lo siguiente: En caso de emplear la metodología propuesta se obtendría un ahorro de S/. 1'602,297 con respecto al método convencional; el cual expresado en porcentaje sería igual a 18% del presupuesto mediante el método convencional.

8.3 EVALUACIÓN FINANCIERA

En la tesis: "Proyecto de Factibilidad del Reciclado en Frío de Pavimento Flexible - Universidad ESAN (Edic. 2009)", se evaluó la factibilidad financiera para este tipo de proyectos, obteniéndose la información siguiente:

8.3.1 Flujo del Proyecto

Los parámetros considerados en el flujo fueron los siguientes:

- Los costos directos son el 63% del ingreso total.
- Los costos indirectos son equivalentes a 1.5% de los costos directos.
- Los costos variables con equivalentes al 20% de los costos directos.

Estos parámetros en realidad, están en función de la magnitud de la obra, pero para el presente flujo se consideraron de esta manera, a partir de los proyectos evaluados para cada región. El flujo en miles de dólares, fue el siguiente:

Cuadro 8-8 Flujo de caja económico del proyecto para los 7 primeros años.

Período	0	1	2	3	4	5	6
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ingreso	-	1,068	1,104	113	5,083	5,408	5,379
Costo Directo	-	(668)	(691)	(71)	(3,179)	(3,383)	(3,365)
Costo Indirecto Fijo	-	(10)	(10)	(1)	(48)	(51)	(50)
Costo Indirecto Variable	-	(134)	(138)	(14)	(636)	(677)	(673)
Depreciación	-	(450)	(450)	(450)	(450)	(450)	(400)
Utilidad antes de Impuestos	-	(194)	(185)	(423)	770	848	891
Impuesto a la renta	-	(58)	(55)	(127)	231	254	267
Utilidad después de Impuestos	-	(136)	(129)	(296)	539	594	624
Flujo de caja Económico	-	(137)	(131)	(299)	535	589	618

Fuente: Tesis PAE-DAP-ESAN, Edición 2009.

Cuadro 8-9 Flujo de caja económico del proyecto para los 7 últimos años.

Período	7	8	9	10	11	12	13
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ingreso	4,720	3,639	58,972	60,606	58,090	50,869	15,571
Costo Directo	(2,952)	(2,276)	(36,886)	(37,908)	(36,334)	(31,817)	(9,739)
Costo Indirecto Fijo	(44)	(34)	(553)	(569)	(545)	(477)	(146)
Costo Indirecto Variable	(590)	(455)	(7,377)	(7,582)	(7,267)	(6,363)	(1,948)
Depreciación	(400)	(400)	(400)	(400)	-	-	-
Utilidad antes de Impuestos	733	473	13,756	14,148	13,944	12,210	3,738
Impuesto a la renta	220	142	4,127	4,244	4,183	3,663	1,121
Utilidad después de Impuestos	513	331	9,629	9,904	9,761	8,547	2,616
Flujo de caja Económico	506	323	9,620	9,894	9,750	8,535	2,603

Fuente: Tesis PAE-DAP-ESAN, Edición 2009.

Obteniéndose los indicadores económicos siguientes:

VAN (miles) = \$17,705

TIR = 39%

De acuerdo a los resultados, se planteó realizar dos préstamos, uno para la inversión inicial y otro para la adquisición de una segunda máquina en el sexto año.

Cuadro 8-10 Proyección financiera para los 7 primeros años.

Período	0	1	2	3	4	5	6
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Préstamo por Inversiones	2,257	-	-	-	-	-	2,000
Saldo de Préstamo 1	2,257	2,210	2,159	2,103	2,044	1,979	1,908
Cuota préstamo 1	-	237	237	237	237	237	237
Interés	-	190	186	182	178	172	167
Amortización	-	47	51	55	60	65	70
Saldo de Préstamo 2	-	-	-	-	-	-	2,000
Cuota préstamo 2	-	-	-	-	-	-	-
Interés	-	-	-	-	-	-	-
Amortización	-	-	-	-	-	-	-
Pago Total de cuotas	-	(237)	(237)	(237)	(237)	(237)	(237)

Fuente: Tesis PAE-DAP-ESAN, Edición 2009.

Cuadro 8-11 Proyección financiera para los 7 últimos años.

Período	7	8	9	10	11	12	13
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Préstamo por Inversiones	-	-	-	-	-	-	-
Saldo de Préstamo 1	1,832	1,749	1,659	1,562	1,456	1,342	1,218
Cuota préstamo 1	237	237	237	237	237	237	237
Interés	161	155	148	140	132	123	113
Amortización	76	83	90	97	106	114	124
Saldo de Préstamo 2	1,958	1,913	1,864	1,811	1,754	1,691	1,624
Cuota préstamo 2	210	210	210	210	210	210	210
Interés	169	165	161	157	153	148	143
Amortización	42	45	49	53	58	62	68
Pago Total de cuotas	(448)	(448)	(448)	(448)	(448)	(448)	(448)

Fuente: Tesis PAE-DAP-ESAN, Edición 2009.

Siendo el flujo de caja financiero el siguiente:

Cuadro 8-12 Flujo de caja financiero para los 7 primeros años.

Período	0	1	2	3	4	5	6
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Flujo de caja financiero	(2,257)	77	83	(83)	752	806	(1,214)

Fuente: Tesis PAE-DAP-ESAN, Edición 2009.

Cuadro 8-13 Flujo de caja financiero para los 7 últimos años.

Período	7	8	9	10	11	12	13
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Flujo de caja financiero	465	284	9,581	9,856	9,313	8,099	2,168

Fuente: Tesis PAE-DAP-ESAN, Edición 2009.

Además se obtuvo los indicadores financieros siguientes:

VAN (miles) = \$15,210

TIR = 34%

8.3.2 Análisis de Sensibilidad

Se consideró como factor del escenario, el porcentaje de proyectos adjudicados a la empresa con respecto a la proyección inicial. Mediante la variación del factor se evaluó los efectos que ello produce sobre el VAN y el TIR.

Cuadro 8-14 Análisis de sensibilidad del VAN y TIR considerando un solo escenario.

Factor de Escenario (%)	VAN Financiero (\$)	VAN Financiero (miles de \$)	TIR Financiero
20	(\$1,064,814)	(\$1,065)	4%
25	(\$47,660)	(\$48)	8%
30	\$969,494	\$969	12%
35	\$1,986,648	\$1,987	14%
40	\$3,003,802	\$3,004	17%
45	\$4,020,957	\$4,021	19%
50	\$5,038,111	\$5,038	21%
55	\$6,055,265	\$6,055	23%
60	\$7,072,419	\$7,072	24%
65	\$8,089,573	\$8,090	26%
70	\$9,106,728	\$9,107	27%
75	\$10,123,882	\$10,124	28%
80	\$11,141,036	\$11,141	30%
85	\$12,158,190	\$12,158	31%
90	\$13,175,345	\$13,175	32%
95	\$14,192,499	\$14,192	33%
100	\$15,209,653	\$15,210	34%

Fuente: Tesis PAE-DAP-ESAN, Edición 2009.

Del cuadro anterior puede deducirse que la empresa necesitaría adjudicarse el 30% como mínimo para obtener resultados positivos.

Al variar 2 factores: factor del escenario y la tasa de descuento, los efectos que produjeron sobre el VAN y el TIR fueron los siguientes:

Cuadro 8-15 Análisis de sensibilidad del VAN considerando dos escenarios.

Factor de escenario	Tasa de descuento					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
20%	432	(1,577)	(2,738)	(3,412)	(3,805)	(4,035)
25%	1,827	(692)	(2,158)	(3,021)	(3,534)	(3,842)
30%	3,223	194	(1,578)	(2,630)	(3,263)	(3,649)
35%	4,619	1,079	(999)	(2,240)	(2,992)	(3,456)
40%	6,015	1,965	(419)	(1,849)	(2,721)	(3,263)
45%	7,410	2,851	160	(1,458)	(2,450)	(3,070)
50%	8,806	3,736	740	(1,067)	(2,179)	(2,877)
55%	10,202	4,622	1,320	(677)	(1,908)	(2,684)
60%	11,598	5,507	1,899	(286)	(1,638)	(2,491)
65%	12,993	6,393	2,479	105	(1,367)	(2,298)
70%	14,389	7,278	3,058	496	(1,096)	(2,105)
75%	15,785	8,164	3,638	886	(825)	(1,912)
80%	17,181	9,050	4,218	1,277	(554)	(1,719)
85%	18,576	9,935	4,797	1,668	(283)	(1,526)
90%	19,972	10,821	5,377	2,058	(12)	(1,333)
95%	21,368	11,706	5,957	2,449	259	(1,140)
100%	22,764	12,592	6,536	2,840	530	(947)

Fuente: Tesis PAE-DAP-ESAN, Edición 2009.

Cuadro 8-16 Análisis de sensibilidad del TIR considerando dos escenarios.

Factor de escenario	Tasa de descuento					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
20%	6.5%	2.6%	-2.2%	-	-	-
25%	10.4%	7.2%	3.3%	-1.2%	-	-
30%	13.6%	10.7%	7.3%	3.6%	-0.6%	-
35%	16.3%	13.6%	10.6%	7.2%	3.6%	-0.3%
40%	18.6%	16.1%	13.3%	10.2%	7.0%	3.6%
45%	20.6%	18.3%	15.6%	12.8%	9.8%	6.7%

Factor de escenario	Tasa de descuento					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
50%	22.5%	20.2%	17.7%	15.0%	12.2%	9.4%
55%	24.1%	22.0%	19.6%	17.0%	14.4%	11.7%
60%	25.7%	23.6%	21.2%	18.8%	16.3%	13.7%
65%	27.1%	25.1%	22.8%	20.4%	18.0%	15.6%
70%	28.5%	26.5%	24.3%	21.9%	19.6%	17.2%
75%	29.7%	27.8%	25.6%	23.4%	21.1%	18.8%
80%	30.9%	29.0%	26.9%	24.7%	22.4%	20.2%
85%	32.0%	30.2%	28.1%	25.9%	23.7%	21.6%
90%	33.1%	31.3%	29.2%	27.1%	24.9%	22.8%
95%	34.1%	32.3%	30.3%	28.2%	26.1%	24.0%
100%	35.1%	33.3%	31.3%	29.3%	27.2%	25.1%

Fuente: Tesis PAE-DAP-ESAN, Edición 2009.

CONCLUSIONES

- La carretera en estudio pertenece a la carretera Héroes de la Breña y se encuentra comprendida por las progresivas Km. 97+080 y Km. 176+319.34. Tiene una longitud total de 79,314 metros, un carril por cada sentido de 3.60 m. de ancho y un ancho de calzada igual a 7.20 m.
- El material RAP, proviene del fresado de 5 cm. de la carpeta asfáltica del tramo comprendido por las progresivas Km. 135+000 y Km. 172+000.
- El material de aporte (agregado virgen), proviene de la cantera Cut – Off que está ubicada en la progresiva Km. 158+200, siendo su tramo de influencia el comprendido por las progresivas Km. 145+000 y Km. 176+320.
- De lo expuesto anteriormente, se concluye que el tramo de aplicación para el presente trabajo de investigación será el comprendido por las progresivas Km. 145+000 y Km. 172+000, cuya longitud total es igual a 27,000 metros.
- Los materiales que conformaron la mezcla asfáltica reciclada son: RAP, emulsión y agregado virgen. A todos ellos se les realizó el control de calidad respectivo, lo cuales cumplieron con los parámetros establecidos por las especificaciones técnicas, tal como puede observarse en los ítems 7.3.1, 7.3.2 y 7.3.3 del presente informe de investigación.
- Una vez verificado la calidad de los materiales, se elaboró en laboratorio dos tipos de agregado combinado:
 - Tipo I: Conformado por 70% de material RAP y 30 % de agregado virgen.
 - Tipo II: Conformado por 50% de material RAP y 50% de agregado virgen.Luego para ambas combinaciones se obtuvo el óptimo contenido de agua y emulsión, logrando diseñar las mezclas asfálticas recicladas, tal como puede observarse en el ítem 7.3.4.
- Para la mezcla tipo I, su óptimo contenido de emulsión es igual a 9.5%; mientras que para la mezcla tipo II es igual a 10.4%.
- Del ensayo Marshall en condiciones secas, la estabilidad de la mezcla tipo I es igual a 1501 lb.; mientras que la estabilidad de la mezcla tipo II es igual a 960 lb.
- Del ensayo Marshall en condiciones húmedas, la estabilidad de la mezcla tipo I es igual a 1155 lb., mientras que la estabilidad de la mezcla tipo II es igual a 974 lb.

- Del ensayo Marshall, los valores de fluencia obtenidos para la mezcla tipo I y II son iguales a 13 y 14 centésimas de pulgada respectivamente.
- Las mezclas asfálticas recicladas cumplieron con los parámetros de control de calidad establecidos por las especificaciones técnicas, tal como puede observarse en la tabla 7-49.
- Debido a que la mezcla tipo I ofrece mayores valores de estabilidad, se eligió como la mezcla que participará en el diseño del pavimento propuesto.
- Con el objetivo de comparar resultados, se uniformizaron los criterios de diseño de pavimento, siendo sus parámetros los siguientes:
 - Período de diseño : 20 años.
 - Nivel de confianza : 95%.
 - Desviación estándar normal (Zr) : -1.645.
 - Error estándar (So) : 0.45.
 - Serviciabilidad inicial (Po) : 4.0.
 - Serviciabilidad final (Pt) : 2.5.
- Del estudio de suelos realizado por la empresa PCI-CESEL, el Módulo Resiliente que ofrece el suelo sub-rasante es igual a 16.4 KSI.
- Del estudio de tráfico realizado por la empresa PCI-CESEL, el Número de Ejes Equivalentes para el período de diseño es igual a 29'797,105.
- De la evaluación técnica realizada al tramo en aplicación se obtuvo la información siguiente:
 - Número estructural del pavimento existente (SN_{EFF}) igual a 3.799.
 - Número estructural requerido (SN_{REQ}) igual a 4.879.
 - Número estructural del pavimento de refuerzo (SN_{REF}) igual a 1.079.
- El número estructural que ofrece el pavimento de refuerzo, empleando el método convencional es igual a 2.200 y está conformado de la manera siguiente:
 - Capa de refuerzo de mezcla asfáltica en caliente de 7.5 cm. de espesor.
 - Capa nivelante de mezcla asfáltica en caliente de 5.0 cm. de espesor.
- El número estructural que ofrece el pavimento de refuerzo, empleando el método propuesto es igual a 1.960 y está conformado de la manera siguiente:
 - Capa de refuerzo de mezcla asfáltica en caliente de 2.5 cm. de espesor.
 - Capa nivelante de mezcla asfáltica reciclada de 10.0 cm. de espesor.
- De la evaluación económica el costo por rehabilitar el tramo en aplicación mediante el método convencional asciende a la suma de 8'937,947. Mientras

que el costo por rehabilitar el tramo en aplicación mediante el método propuesto asciende a la suma de S/. 7'335,650.

- De lo anterior, se deduce que el ahorro que se obtendría al aplicar la metodología de rehabilitación propuesta sería igual a S/. 1'602,297, que dividido por la longitud del tramo en aplicación se obtendría un radio de ahorro de S/. 59,344 por kilómetro.
- De la evaluación financiera realizada para proyectos de reciclado en frío de pavimentos, se obtuvo los indicadores financieros siguientes:
 - Valor actual neto (VAN) igual a US\$ 15'210,000.
 - Tasa de interés de retorno (TIR) igual a 34%.

RECOMENDACIONES

- Por la singularidad de los proyectos, la selección de un método de rehabilitación mediante reciclado debe hacerse sobre la base de una evaluación detallada del pavimento que se va rehabilitar.
- El tipo de emulsión a escoger para un proyecto de reciclado, va depender del clima y las condiciones geofísicas que se presenten en la zona, además del modo de aplicación de la misma (in-situ o planta).
- Para proyectos de reciclado en frío ubicados en zonas de altura, se recomienda emplear emulsiones asfálticas con polímeros, debido a que le brindan mayor durabilidad al asfalto, soportan adecuadamente los gradientes térmicos y aumentan su resistencia a la deformación.
- Luego del fresado no es conveniente realizar riego de liga, porque en las hendiduras de la carpeta asfáltica se generarían bolsones de asfalto produciendo vacíos entre las carpetas asfálticas existentes y de refuerzo.
- Debido a que la mezcla reciclada en frío se realiza a temperatura ambiente, es necesario emplear equipos de mayor energía de compactación con respecto a los convencionales.
- Los tiempos de curado necesario para puesta en servicio es de 48 horas. Por lo que es muy recomendable para proyectos aeroportuarios, debido a que el período de standby en las operaciones de la pista de aterrizaje debe ser mínimo.
- Debido a que el proceso se realiza a temperatura ambiente, las juntas longitudinales de construcción desaparecen.
- Una de las ventajas de los proyectos de reciclado es que las propiedades físicas-mecánicas de los materiales de base y sub-base no son modificados y mantiene su densificación natural como producto de la transmisión de las cargas de los vehículos que la han transitado durante su vida útil.
- Es recomendable el reciclado en frío de pavimentos para proyectos donde no se tiene identificado las zonas en las que se ha realizado labores de mantenimiento con asfaltos diluidos.
- El material de cantera es un recurso no renovable, razón por la cual debería considerarse en la conservación de pavimentos el reciclado en frío.
- Por los estudios realizados por el Banco Mundial, se recomienda realizar los trabajos de conservación de pavimentos al primer 40% de disminución en la

calidad de su pavimento, de no realizarse en ese periodo, los gastos de conservación de pavimentos se elevarían.

- Se recomienda ampliar la investigación sobre reciclado de pavimentos, haciendo participar agentes estabilizadores tales como cal, cemento, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), "Normas de Ensayos de Materiales", AASHTO, EE.UU, 2001.
- American Section of the International Association for Testing Materials (ASTM), "Normas de Ensayos de Materiales", ASTM, EE.UU, 2002.
- Asociación Peruana de Caminos (APC), "IV Congreso Nacional del Asfalto", APC, Perú, 2001.
- Asociación Peruana de Caminos (APC), "VI Congreso Nacional del Asfalto", APC, Perú, 2003.
- Asphalt Institute (AI), "Asphalt Cold Mix Recycling (MS – 21)", AI, EE.UU, 1983.
- Asphalt Institute, "Manual Básico de Emulsiones Asfálticas", Asphalt Emulsión Manufacturers Association (AEMA), EE.UU, 2001.
- Asphalt Institute, "Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente", Asphalt Institute, México, 1992.
- Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA), "Basic Asphalt Recycling Manual", ARRA, EE.UU, 2001.
- Environmental Protection Agency (EPA), "Hot Mix Asphalt Plant Emission Assessment Report", EPA, EE.UU, 2000.
- Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, "Diseño Estructural de Caminos AASHTO 1993", Argentina, 2000.
- Fernández Larrauri Vladimir César, "Proyecto de Factibilidad del Reciclado en Frío de Pavimentos Flexibles", Universidad ESAN, Perú, 2009.

- Guerra Bustamante César, "Carretera Ferrocarriles y Canales", América, Perú, 1997.
- Gutiérrez Lázares José Wilfredo, "Mecánica de Suelos Aplicada a las Vías de Transportes", Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Perú, 2011.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), "Plan Estratégico Institucional 2007 – 2011", MTC, Perú, 2006.
- Montejo Fonseca Alfonso, "Ingeniería de Pavimentos para Carreteras", Universidad Católica de Colombia, Colombia, 1998.
- Olivera Bustamante Fernando, "Estructuración de Vías Terrestres", Cesca, Mexico, 1999.
- Proyecto Especial de Infraestructura Nacional (Provias Nacional), "Programa Quinquenal 2006 – 2011 del Sistema de Gestión de Infraestructura Vial", PROVIAS, Perú, 2006.
- Proyecto Especial de Infraestructura Nacional (Provias Nacional), "Programa Quinquenal 2006 – 2011 de Provias Nacional Propuesta de Financiamiento", PROVIAS, Perú, 2006.
- Revista Tecnología, "Reciclado de Pavimentos", Caminos del Perú, Perú, 2003.
- Rivera E. Gustavo, "Reciclado de Pavimentos en Frío", Alfaomega, México, 1997.
- Wirtgen, "Manual de Reciclado en Frío", Wirtgen, Alemania, 2004.
- World Road Association (PIARC), "Asphalt Pavement Recycling", PIARC, Francia, 1996.

- World Road Association (PIARC), "Evaluación y Financiación del Mantenimiento de Caminos en los Países Miembros del PIARC", PIARC, Francia, 2005.
- World Road Association (PIARC), "Guide Lines for Pavement Recycling", PIARC, Francia, 2003.
- World Road Association (PIARC), "Impact of Road Construction and Maintenance Activities on Road Users and the Adjacent Land Use", PIARC, Francia, 2007.
- World Road Association (PIARC), "Review of the Growth and Development of Recycling in Pavement Construction", PIARC, Francia, 2008.

ANEXOS

A. PLANOS

***B. CERTIFICADOS DE
LABORATORIO***



Lima, 21 JUN. 2006

OFICIO N° 191 -2006-MTC/14.01

Señor:

Bach. Ing. Vladimir César Fernández Larrauri

Presente.-

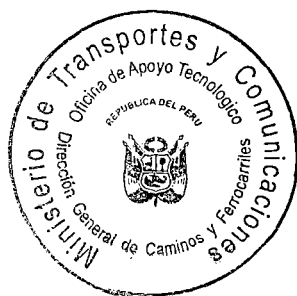
Asunto : Reporte de Resultados de Ensayos de Laboratorio

Ref. : Carta s/n de 04.04.2006

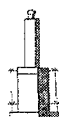
Es grato dirigirme a usted, para hacerle llegar el memorándum N° 372-2006-MTC/14.01.SDMSEM.mvjs de nuestra Subdirección de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales, con los resultados de ensayos de laboratorio específicamente solicitados mediante documento de la referencia; realizados para el Proyecto de Tesis "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas".

Es propicia la ocasión, para expresarle los sentimientos de mi especial consideración y estima.

Atentamente,




ING. ABEL RAMOS CUYA
DIRECTOR
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



LABORATORIO AT



Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rímac, Telf: 481-3707 Fax: 481-0677

Gobierno
del Perú

Trabajo en equipo



M.T.C.
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
D.G.C.F.

Hora: *8:30* Registro:
21 JUN. 2006

RECIBIDO

Por: *734*



MEMORÁNDUM N° 372 - 2006-MTC/14.01.SDMSEM.mvjs.-

AL : **ING. ABEL RAMOS CUYA**
Director de Oficina de Apoyo Tecnológico

DE : **ING. MAXIMO VICTOR JAUREGUI SOTELO**
Sub Director de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

ASUNTO : Reporte de Elevación de Resultados de Ensayos de Laboratorio
Tesis : Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas

REF. : a) Memorándum N° 090-2006-MTC/14.01.SDMSEM.DL.uma.cfc
b) Carta S/N del 04.04.2006

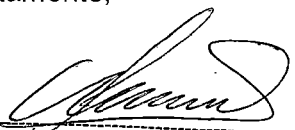
FECHA : Lima, 19 de Junio del 2006

Me dirijo a usted, con el fin de manifestarle que adjunto al presente sírvase encontrar los documentos de referencia, conjuntamente con el Informe de Ensayo N° 125-2006-MTC/14.01, (12 Folios); con los resultados de ensayos de laboratorio realizados a las muestras de agregados, pavimento reciclado y emulsión asfáltica catiónica; remitidas e identificadas por el solicitante, para el desarrollo de la Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas".

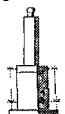
Los resultados pendientes se emitirán como un suplemento del mismo informe, una vez se culminen los respectivos ensayos.

Se adjunta proyecto de remisión (06 ejemplares), para su suscripción de encontrarlo conforme.

Atentamente,


ING. MAXIMO VICTOR JAUREGUI SOTELO
JEFE DE SUB DIRECCION DE MECANICA DE SUELOS
Y ENSAYOS DE MATERIALES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

CC:
Dpto. Laboratorio
Memo 372
MVJS/gchm.



LABORATORIO AT



Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rímac, Telf: 481-3707 Fax: 481-0677

Gobierno del Perú

Trabajo en conjunto



MEMORÁNDUM N° 090-2006-MTC/14.01.SDMSEM.DL.uma.cfc.-

AL : ING. MÁXIMO VICTOR JAÚREGUI SOTELO
Subdirector de Mecánica de Suelos y E.M.

DEL : ING. CÉSAR A. FERREYROS CORCUERA
Jefe Unidad de Asfaltos y Mezclas Asfálticas

ASUNTO : Elevación de Resultados de Ensayos
Tesis: Reciclado en frío de pavimentos flexibles
con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas
Solicita : Bach. Ing°. Vladimir César Fernández Larrauri

REF. : Carta S/N del 04.04.2006

FECHA : Lima, 15 de Junio del 2006



Se adjunta al presente el Informe de Ensayo N° 125-2006-MTC/14.01 (12 folios) con los resultados de ensayos de laboratorio específicamente solicitados con el documento de referencia y realizados a las muestras de agregados, pavimento reciclado y emulsión asfáltica catiónica; tomadas, remitidas é identificadas por el solicitante, para ser empleadas en el desarrollo de la Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas", la misma que cuenta con Orden de Servicio N°093-2006-MTC/14.01.

Los demás resultados de ensayos que no se reportan en el Informe de Ensayo N° 125-2006-MTC/14.01, se emitirán como un suplemento del mismo Informe, una vez se culminen dichos ensayos.

Agradeceré hacer de conocimiento del interesado.

Atentamente

Ing. César A. Ferreyros Corcuera
Jefe de Unidad de Asfaltos y Mezclas Asfálticas
Subdirección de Mecánica de Suelos y E.M.

C.C.:
Dpto. Laboratorio
MAC
Archivo
O.S. N°093
cfc/cfc.



OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO N° 1 2 5 - 2006 - MTC/14.01

SOLICITANTE : Bach. Ing. Vladimir César Fernández Larrauri
DOMICILIO LEGAL : Calle Siena Mz. "L" Lote 7 - Urb. Los Portales de Javier Prado
PROYECTO : Tesis "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"
REFERENCIA : Carta S/N del 04.04.2006
FECHA DE RECEPCIÓN : 04.04.2006
MUESTRA : Agregados
IDENTIFICACIÓN : Cantera "Cut - Off"
CANTIDAD : 115 a 326 kg aprox.
PRESENTACIÓN : Sacos
FECHA ENSAYO : 11.04 al 17.04.2006

Table with columns: MALLAS (SERIE AMERICANA, ABERTURA (mm)), DENOMINACIÓN (NORMAS ENSAYO), AGREGADO 3/4" - 3/8" (RET.(%), PASA (%)), AGREGADO 3/8" - N° 4 (RET.(%), PASA (%)). Rows include sieve sizes from 3" to N° 200 and various test results like HUMEDAD, ABRASIÓN, DURABILIDAD, etc.

Observaciones:

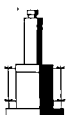
- Material proporcionado e identificado por el solicitante, como procedente de cantera "Cut-Off".
- Fecha de orden de ensayo: 06.04.2006.
- (*) Los ensayos de partículas chatas y alargadas, y de porcentaje de caras de fractura no se realizaron, debido a que el material no presentaba los tamaños requeridos para estos ensayos (agregado grueso mayor a 1/4").
- Reactivo (Sulfato de magnesio heptahidratado) para el ensayo de durabilidad proporcionado por el laboratorio.
- La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del solicitante, salvo las recomendaciones adjuntas.
Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



USA (1/5)
enf/ edm - gza- ets-ivv
O.S. N° 093



ING. JEFE DE UNIDAD
Ing. E. HUAYTA
Lima, 09 de mayo del 2006





**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

002

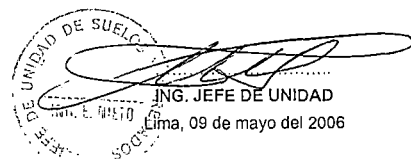
INFORME DE ENSAYO N° 1 2 5 - 2006- MTC/14.01

SOLICITANTE	:	Bach. Ing. Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA	:	Agregado fino
DOMICILIO LEGAL	:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 - Urb. Los Portales de Javier Prado	IDENTIFICACIÓN	:	Cantera "Cut - Off"
PROYECTO	:	Tesis "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD	:	352 kg aprox.
REFERENCIA	:	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN	:	Sacos
FECHA DE RECEPCIÓN	:	04.04.2006	FECHA ENSAYO	:	11 al 24.04.2006

MALLAS		DESCRIPCIÓN	AGREGADO PASA N° 4					
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)		NORMA ENSAYO	RET.(%)				
3"	76,200	NTP 400.012 (01)						
2 1/2"	63,500							
2"	50,800							
1 1/2"	38,100							
1"	25,400							
3/4"	19,050							
1/2"	12,700							
3/8"	9,525							
1/4"	6,350							
N° 4	4,760				100			
N° 6	3,360			11	89			
N° 8	2,380			11	78			
N° 10	2,000			5	73			
N° 16	1,190			16	57			
N° 20	0,840			8	49			
N° 30	0,590			7	42			
N° 40	0,426			6	36			
N° 50	0,297			5	31			
N° 80	0,177			7	24			
N° 100	0,149		2	22				
N° 200	0,074		5	17				
- N° 200	-	NTP 400.019(02)	17	-				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		NTP 339.127(98)	0,5					
LÍMITE LÍQUIDO (%)		NTP 339.129(99)	18,0					
ÍNDICE PLÁSTICO (%)		NTP 339.129(99)	N.P.					
LÍMITE LÍQUIDO (%) material < malla N° 200		NTP 339.129(99)	22,0					
ÍNDICE PLÁSTICO (%) material < malla N° 200		NTP 339.129(99)	3,0					
EQUIVALENTE ARENA (%)		NTP 339.146(00)	43					
DURABILIDAD- SO4Mg (%)		NTP 400.016(99)	5,7					
PESO UNITARIO SUELTO (kg/m3)		NTP 400.017(99)	1 633					
PESO UNITARIO VARILLADO (kg/m3)		NTP 400.017(99)	1 724					
P.ESP. BULK (BASE SECA) g/cm³		NTP 400.022(02)	2,595					
P.ESP. BULK (BASE SATURADA) g/cm³		NTP 400.022(02)	2,636					
P.ESP. APARENTE (BASE SECA) g/cm³		NTP 400.022(02)	2,707					
ABSORCIÓN (%)		NTP 400.022(02)	1,6					
IMPUREZAS ORGÁNICAS		NTP 400.024(99)	ACEPTABLE					

Observaciones:

- Material proporcionado e identificado por el solicitante, como procedente de cantera "Cut- Off".
- Fecha de orden de ensayo: 06.04.2006.
- Reactivo (Sulfato de magnesio heptahidratado) para el ensayo de durabilidad proporcionado por el laboratorio.
- La interpretación de los resultados es de exclusiva responsabilidad del solicitante, salvo las recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



USA (2/5)
enf / edm- ets-gza-lvv
D.S. N° 093





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA COMISIÓN DE REGLAMENTOS TÉCNICOS Y COMERCIALES CON REGISTRO N° 032



REGISTRO N° 032

Ministerio de Transportes y Comunicaciones
Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

003

**INFORME DE ENSAYO N° 1 2 5 - 2006 - MTC/14.01
(VALOR OFICIAL, SEGÚN RESOLUCIÓN N° 0013-2005-/CRT - INDECOPI)**

SOLICITANTE	: Bach. Ing. Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA	: Agregado fino
DOMICILIO LEGAL	: Calle Siena Mz. "L" Lote 7 - Urb. Los Portales de Javier Prado	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
PROYECTO	: Tesis "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD	: 352 kg aprox.
REFERENCIA	: Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN	: Sacos
FECHA DE RECEPCIÓN	: 04.04.2006	FECHA DE ENSAYO	: 11 al 12.04.2006

NTP 400.018(2 002) AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN POR EL TAMIZ NORMALIZADO 75 um (N° 200) POR LAVADO EN AGREGADOS (PROCEDIMIENTO A)*

IDENTIFICACIÓN	RESULTADO (%)
Cantera "Cut - Off", agregado pasa N° 4	17

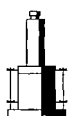
Observaciones:

- Material proporcionado e identificado por el solicitante, como procedente de cantera "Cut - Off".
- Fecha de orden de servicio: 06.04.2006.
- (*) 2002 - 05 -16 (2ª Edición) Referencia a AGGREGATES. Standard test method for determine materials finer than 75 um (N° 200) sieve in aggregates by washing (ASTM C -117).
- La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del solicitante, salvo las recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



ING. JEFE DE UNIDAD
Lima, 09 de mayo del 2006

USA (3/5)
enf./ edm
O.S.N° 093



LABORATORIO AT

Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rímac, Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677



Gobierno del Perú
Trabajo de personas



**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

INFORME DE ENSAYO N° 1 2 5 - 2006 - MTC/14.01

SOLICITANTE	: Bach. Ing. Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA	: Suelos
DOMICILIO LEGAL	: Calle Siena Mz. "L" Lote 7 - Urb. Los Portales de Javier Prad	IDENTIFICACIÓN	: Las que se indican
PROYECTO	: Tesis "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD	: 115 a 352 kg aprox.
REFERENCIA	: Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN	: Bolsas plásticas
FECHA DE RECEPCIÓN	: 04.04.2006	FECHA DE ENSAYO	: 11 al 12.04.2006

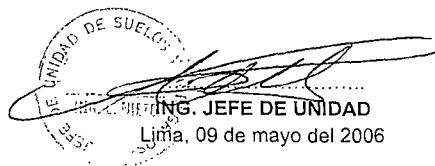
NTP 339.127(1998) SUELOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (*)

IDENTIFICACIÓN	RESULTADO (%)
Cantera "Cut - Off", agregado 3/4" - 3/8"	0,4
Cantera "Cut - Off", agregado 3/8" - N° 4	0,4
Cantera "Cut - Off", agregado pasa N° 4	0,5

Observaciones:

- Material proporcionado e identificado por el solicitante, como procedente de cantera "Cut- Off".
- Fecha de orden de ensayo: 06.04.2006.
- (*) 1998-11-25 (1ª Edición). Referencia a "Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock", ASTM D-2216.
- Ensayo efectuado con menor cantidad que la establecida en 7,2 (NTP 339.127).
- La muestra no contenía más de un tipo de material (estratificado, etc).
- Método de secado con horno a 110 +/- 5 °C
- La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del solicitante, salvo las recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).




ING. JEFE DE UNIDAD
 Lima, 09 de mayo del 2006

USA (4/5)
enf./ edm -ets
O.S.N° 093





**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

INFORME DE ENSAYO N° 1 2 5 - 2006- MTC/14.01

SOLICITANTE : Bach. Ing. Vladimir César Fernández Larrauri MUESTRA : Material de RAP (Pavimento asfáltico reciclado)

DOMICILIO LEGAL : Calle Siena Mz. "L" Lote 7 - Urb. Los Portales de Javier Prado IDENTIFICACIÓN : La que se indica (*)

PROYECTO : Tesis "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas" CANTIDAD : 85 a 149 kg aprox.

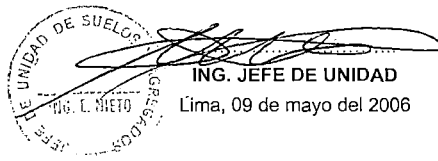
REFERENCIA : Carta S/N del 04.04.2006 PRESENTACIÓN : Sacos

FECHA DE RECEPCIÓN : 04.04.2006 FECHA ENSAYO : 08 al 09.05 .2006

MALLAS		DESCRIPCIÓN	RAP 3/4" - 3/8" (*)		RAP 3/8" - N° 4 (*)		RAP PASA N°4 (*)			
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)		NORMA ENSAYO	RET.(%)	PASA(%)	RET.(%)	PASA(%)	RET.(%)	PASA(%)	
3"	76,200	NTP 400.012 (01)								
2 1/2"	63,500									
2"	50,800									
1 1/2"	38,100									
1"	25,400				100					
3/4"	19,050			34	66					
1/2"	12,700			27	39					
3/8"	9,525			23	16		100			
1/4"	6,350			14	2	70	30			
N° 4	4,760			2	-	30	-		100	
N° 6	3,360							22	78	
N° 8	2,380							20	58	
N° 10	2,000							8	50	
N°16	1,190							20	30	
N° 20	0,840							9	21	
N° 30	0,590							7	14	
N° 40	0,426							5	9	
N° 50	0,297							4	5	
N° 80	0,177							3	2	
N° 100	0,149							1	1	
N° 200	0,074						1	-		
- N° 200.	-	NTP 400.019(02)								

Observaciones:

- (*) Material proporcionado e identificado por el solicitante, como procedente de Carretera Central km 135 + 000 - km 172 +000.
- Fecha de orden de ensayo: 06.04.2006.
- La interpretación de los resultados es de exclusiva responsabilidad del solicitante, salvo las recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



ING. JEFE DE UNIDAD
Lima, 09 de mayo del 2006

USA (5/5)
enf / edm- ets-gza-lvv
O.S. N° 093



**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

INFORME DE ENSAYO N° 1 2 5 -2006-MTC/14.01

SOLICITANTE	: Bach. Ing. Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Calle Siena, Mz."L", Lote 7, Urb. Los Portales de Javier Prado - I Etapa - Ate.	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
PROYECTO	: Tesis "Reciclado en Frío de Pavientos Flexibles con el uso de Emulsiones Asfálticas Catiónica".	CANTIDAD	: 900 g.
REFERENCIA	: Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN	: Sacos
FECHA DE RECEPCIÓN	: 04.04.2006	FECHA DE ENSAYO	: 11.04.2006

MTC E - 219 (2 000) SALES SOLUBLES EN AGREGADOS DE PAVIMENTO FLEXIBLE

IDENTIFICACIÓN	RESULTADO (%)
Cantera Cut - Off ; agregados 3/4" - 3/8"	0,0086
Cantera Cut - Off ; agregados 3/8" - N°4	0,0105
Cantera Cut - Off ; agregados, pasa - N°4	0,0474

Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del solicitante, salvo las recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



[Signature]
JEFE DE UNIDAD
 Lima, 12 de abril del 2006

UAQ (1/1)
ama
O.S.N°093



DGCF

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO

007

INFORME DE ENSAYO N° 125 - 2006 - MTC/14.01

SOLICITANTE : Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri
DOMICILIO LEGAL : Calle Siena Mz "L" Lote 7- Urb. Los Portales de Javier Prado
PROYECTO : Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"
REFERENCIA : Carta S/N del 04.04.2006
FECHA DE RECEPCIÓN : 04.04.2006
MUESTRA : Agregados y emulsión asfáltica
IDENTIFICACIÓN : La que se indica
CANTIDAD : 115 kg a 326 kg y 5 galones
PRESENTACIÓN : Sacos y envases plásticos.
FECHA DE ENSAYO : Mayo - 2006

AASHTO T - 182* COATING AND STRIPPING OF BITUMEN - AGGREGATE MIXTURE

Table with 3 columns: DESCRIPCIÓN, REVESTIMIENTO (%), and DESPRENDIMIENTO (% Retenido). It contains two rows of test results for 'Cantera CUT - OFF' with 100% coating and 95% stripping.

Tipo.de Emulsión : Emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta con polímero. (procedencia Emulsiones Asfálticas E.I.R.L.)

Observaciones:

- (*) Publicado en Standard Specifications for Transportation Materials and Sampling and Testing 1995.
- Muestras de agregados y emulsión asfáltica proporcionadas e identificadas por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo : 06.04.2006.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante, salvo recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



ING. JEFE DE UNIDAD
Lima, 08 de Junio del 2006

UMA (1/6)
c/c/lca.
O.S. N°093



LABORATORIO AT

Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rímac, Telf: 481-3707 Fax: 481-0677



**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
 SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

INFORME DE ENSAYO N° 125 - 2006 - MTC/14.01

SOLICITANTE : Bach. Ing ^o Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA : Agregados y emulsión
DOMICILIO LEGAL : Calle Siena Mz "L" Lote 7- Urb. Los Portales de Javier Prado	asfáltica .
PROYECTO : Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	IDENTIFICACIÓN : La que se indica
REFERENCIA : Carta S/N del 04.04.2006	CANTIDAD : 352 kg aprox. y 5 galones
FECHA DE RECEPCIÓN : 04.04.2006	PRESENTACIÓN : Sacos y envase plástico.
	FECHA DE ENSAYO : Mayo - 2006

MTC E 220 (2000)* ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS ÁRIDOS FINOS (PROCEDIMIENTO RIEDEL WEBER)

PROCEDENCIA	RESULTADO (Grado)
Cantera "CUT - OFF" (Agregado pasa N° 4)	6 - 10

Tipo de Emulsión : Emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta con polímero. (procedencia Emulsiones Asfálticas E.I.R.L.)

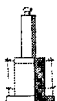
Observaciones:

- (*) Manual de Ensayo de Materiales para Carreteras (EM-2000), 2da edición aprobado con R.D. N° 028-2001-MTC/15.17 del 16/01/2001.
- Muestras de agregados y emulsión asfáltica proporcionadas e identificadas por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo : 06.04.2006.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante, salvo recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



ING. JEFE DE UNIDAD
 Lima, 08 de Junio del 2006

UMA (2/6)
 c/c/eva.
 O.S. N°093





**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

INFORME DE ENSAYO Nº 1 2 5 - 2006 - MTC/14.01

SOLICITANTE	:	Bach. Ingº Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRAS	:	pavimento asfáltico reciclado (RAP)
DOMICILIO LEGAL	:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN	:	La que se indica
PROYECTO	:	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD	:	334 kg.
REFERENCIA	:	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN	:	Sacos
FECHA DE RECEPCIÓN	:	04.04.2006	FECHA ENSAYO	:	Mayo - 2006

ASTM D-2172 (95)

METHODS FOR QUANTITATIVE EXTRACTION OF BITUMINOUS PAVING MIXTURES*

MALLAS		UBICACIÓN (km)	MATERIAL DE RAP (PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO) Procedente de Carretera Central km. 135+0,00 -172+0,00								
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	LADO	M-1		M-2		M-3		M-4		
		NORMA ENSAYO	RET.(%)	PASA(%)	RET.(%)	PASA(%)	RET.(%)	PASA(%)	RET.(%)	PASA(%)	
3"	76,200	NTP 400.012(01)									
2 1/2"	63,500										
2"	50,800										
1 1/2"	38,100			100							
1"	25,400			2	98		100		100		100
3/4"	19,050			1	97	4	96	2	98	7	93
1/2"	12,700			7	90	7	89	11	87	12	81
3/8"	9,525			8	82	6	83	9	78	5	76
1/4"	6,350			13	69	12	71	13	65	10	66
Nº 4	4,760			6	63	8	63	7	58	6	60
Nº 6	3,360			9	54	9	54	8	50	9	51
Nº 8	2,380			8	46	7	47	6	44	6	45
Nº 10	2,000			3	43	3	44	3	41	3	42
Nº 16	1,190			9	34	9	35	8	33	9	33
Nº 20	0,840			4	30	5	30	4	29	4	29
Nº 30	0,590			4	26	5	25	4	25	5	24
Nº 40	0,426			4	22	4	21	4	21	4	20
Nº 50	0,297			4	18	4	17	4	17	4	16
Nº 80	0,177			4	14	4	13	4	13	4	12
Nº 100	0,149			1	13	1	12	1	12	1	11
Nº 200	0,074		3	10	3	9	3	9	3	8	
- Nº 200	-	NTP 400.018(02)	10	-	9	-	9	-	8	-	
CONTENIDO DE ASFALTO (%)		ASTM D-2172(95)	5,4		5,2		5,3		4,8		

Observaciones:

(*) Publicado en el Annual Book of ASTM Standards 2001.

Muestras de Pavimento Asfáltico Reciclado proporcionado e identificado por el solicitante.

Ensayo de Lavado Asfáltico realizado con Tricloroetileno (Q.P.) proporcionado por el solicitante.

La interpretación ajena de los resultados es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas.

Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución Nº 0062-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



INGº JEFE DE UNIDAD
Lima, 08 Junio del 2006

UMA (3/6)
cfc/lca/npl.
O.S. Nº 093





OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO

010

INFORME DE ENSAYO N° 1 2 5 - 2006 - MTC/14.01

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRAS :	pavimento asfáltico reciclado (RAP)
DOMICILIO LEGAL :	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	334 kg.
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA ENSAYO :	Mayo - 2006

ASTM D-2172 (95)

METHODS FOR QUANTITATIVE EXTRACTION OF BITUMINOUS PAVING MIXTURES*

MALLAS		UBICACIÓN (km)	MATERIAL DE RAP (PAVIMENTO ASFÁLTICO REICLADO) Procedente de Carretera Central km. 135+0,00 -172+0,00								
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)		LADO	M-5		M-6		M-7		M-8	
		NORMA ENSAYO	RET.(%)	PASA(%)	RET.(%)	PASA(%)	RET.(%)	PASA(%)	RET.(%)	PASA(%)	
3"	76,200	NTP 400.012(01)									
2 1/2"	63,500										
2"	50,800										
1 1/2"	38,100										
1"	25,400				100		100		100		100
3/4"	19,050			4	96	2	98	3	97	4	96
1/2"	12,700			13	83	8	90	12	85	11	85
3/8"	9,525			6	77	8	82	9	76	7	78
1/4"	6,350			10	67	10	72	10	66	12	66
N° 4	4,760			7	60	9	63	7	59	7	59
N° 6	3,360			8	52	9	54	8	51	8	51
N° 8	2,380			6	46	7	47	6	45	6	45
N° 10	2,000			3	43	3	44	3	42	3	42
N° 16	1,190			8	35	9	35	8	34	8	34
N° 20	0,840			4	31	4	31	4	30	4	30
N° 30	0,590			5	26	5	26	4	26	4	26
N° 40	0,426			5	21	4	22	4	22	4	22
N° 50	0,297			4	17	4	18	4	18	4	18
N° 80	0,177			4	13	4	14	4	14	4	14
N° 100	0,149			1	12	1	13	1	13	1	13
N° 200	0,074		3	9	3	10	3	10	3	10	
- N° 200	-	NTP 400.018(02)	9	-	10	-	10	-	10	-	
CONTENIDO DE ASFALTO (%)		ASTM D-2172(95)	4,8		5,3		5,0		5,0		

Observaciones:

- (*) Publicado en el Annual Book of ASTM Standards 2001.
- Muestras de Pavimento Asfáltico Reciclado proporcionado e identificado por el solicitante.
- Ensayo de Lavado Asfáltico realizado con Tricloroetileno (Q.P.) proporcionado por el solicitante.
- La interpretación ajena de los resultados es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



ING° JEFE DE UNIDAD
Lima, 08 Junio del 2006

UMA (4/6)
ctc/lca/mpf.
O.S. N° 093





**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
 SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

INFORME DE ENSAYO Nº 1 2 5 - 2006 - MTC/14.01

SOLICITANTE :	Bach. Ingº Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRAS :	pavimento asfáltico
DOMICILIO LEGAL :	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.		reciclado (RAP)
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
		CANTIDAD :	334 kg.
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA ENSAYO :	Mayo - 2006

ASTM D-2172 (95)

METHODS FOR QUANTITATIVE EXTRACTION OF BITUMINOUS PAVING MIXTURES*

MALLAS		UBICACIÓN (km)	MATERIAL DE RAP (PAVIMENTO ASFÁLTICO RECIKLADO) Procedente de Carretera Central km. 135+0,00 -172+0,00							
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	LADO	M-9							
		NORMA ENSAYO	RET.(%)	PASA(%)	RET.(%)	PASA(%)	RET.(%)	PASA(%)	RET.(%)	PASA(%)
3"	76,200	NTP 400.012(01)								
2 1/2"	63,500									
2"	50,800									
1 1/2"	38,100									
1"	25,400				100					
3/4"	19,050			3	97					
1/2"	12,700			9	88					
3/8"	9,525			6	82					
1/4"	6,350			13	69					
Nº 4	4,760			6	63					
Nº 6	3,360			8	55					
Nº 8	2,380			7	48					
Nº 10	2,000			3	45					
Nº 16	1,190			9	36					
Nº 20	0,840			5	31					
Nº 30	0,590			5	26					
Nº 40	0,426			4	22					
Nº 50	0,297			4	18					
Nº 80	0,177			4	14					
Nº 100	0,149			1	13					
Nº 200	0,074		3	10						
- Nº 200	-	NTP 400.018(02)	10	-						
CONTENIDO DE ASFALTO (%)		ASTM D-2172(95)	5,2							

Observaciones:

- (*) Publicado en el Annual Book of ASTM Standards 2001.
- Muestras de Pavimento Asfáltico Reciclado proporcionado e identificado por el solicitante.
- Ensayo de Lavado Asfáltico realizado con Tricloroetileno (Q.P.) proporcionado por el solicitante.
- La interpretación ajena de los resultados es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución Nº 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



INGº JEFE DE UNIDAD
 Lima, 08 Junio del 2006

UMA (5/6)
 cfc/lca/npf.
 O.S. Nº 093





OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO

012

INFORME DE ENSAYO N° 1 2 5 - 2006 - MTC/14.01

SOLICITANTE : Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA : pavimento asfáltico
DOMICILIO LEGAL : Calle Siena Mz "L" Lote 7 - Urb. Los Portales de Javier Prado	reciclado (RAP)
PROYECTO : Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	IDENTIFICACIÓN : La que se indica
REFERENCIA : Carta S/N del 04.04.2006	CANTIDAD : 334 kg.
FECHA DE RECEPCIÓN : 04.04.2006	PRESENTACIÓN : Sacos
	FECHA DE ENSAYO : Mayo - 2006

ENSAYOS DE CALIDAD AL ASFALTO RECUPERADO *

REALIZADO A LA MUESTRA DE ASFALTO RECUPERADO (Pavimento asfáltico reciclado procedente de Carrt. Central km 135+0,00 - 172+0,00)	NORMA	RESULTADO
PENETRACIÓN, 25°C, 100g, 5 s, 0,1mm	ASTM D-5 / 97 **	64
DUCTILIDAD, 25 °C, 5 cm/min (cm)	ASTM D-113 / 99 **	+ 100
PESO ESPECÍFICO, 15,6/15,6°C (kg/m³)	ASTM D-70 / 97 **	1032,3
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °C	ASTM D-36 / 95 **	54,1
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, (%)	ASTM D-2042 / 97 **	99,92
ÍNDICE DE PENETRACIÓN	REFERENCIA FRANCESA	+ 1,26
VISCOSIDAD CINEMÁTICA, cSt	ASTM D-2170 / 95 **	670,7
VISCOSIDAD ABSOLUTA, 60°C, 300mm Hg (P)	ASTM D-2171 / 94 **	25489,0
EN SAYO DE LA MANCHA (Solvente: Nafta Standard)	AASHTO T-102 ***	Positivo

Observaciones:

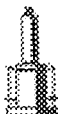
- (*) Muestra de asfalto recuperado según Standard Test Method for Recovery of Asphalt From Solution by Abson Method (ASTM D-1856).
- (**) Publicado en Annual Book of ASTM Standards 2001.
- (***) Publicado en Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing 1995 (Parte II).
- Ensayo de Recuperación de Asfalto efectuada con rectivo "Tricloroetileno Q.P." proporcionado por el solicitante.
- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07-01-98).



UMA (6/6)
 dlc/npl/lca.
 O.S. N°093



ING. C. FERREYROS
 ING. JEFE DE UNIDAD
 Lima, 18 de Junio del 2006



LABORATORIO AT





Lima, 21 JUN. 2006

OFICIO N° 192 -2006-MTC/14.01

Señor:
Bach. Ing. Vladimir César Fernández Larrauri
Presente.-

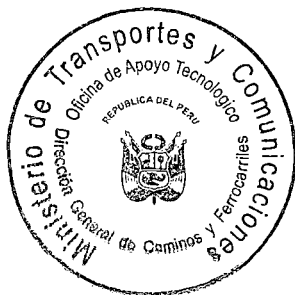
Asunto : Reporte de Resultados de Ensayos de Laboratorio


Ref. : Carta s/n de 03.05.2006

Es grato dirigirme a usted, para hacerle llegar el memorándum N° 373-2006-MTC/14.01.SDMSEM.mvjs de nuestra Subdirección de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales, con los resultados de ensayos de laboratorio específicamente solicitados mediante documento de la referencia, realizados para el Proyecto de Tesis "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas".

Es propicia la ocasión, para expresarle los sentimientos de mi especial consideración y estima.

Atentamente,




ING. ABEL RAMOS CUYA
DIRECTOR
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



LABORATORIO AT

Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rímac, Telf: 481-3707 Fax: 481-0677

Gobierno del Perú

Tratado de Libre Comercio



M.T.C.
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
D.G.C.F.

Hora: *Est.* 21 JUN. 2006 Registro:

RECIBIDO

Por: *35*



MEMORÁNDUM N° 373 - 2006-MTC/14.01.SDMSEM.mvjs.-

AL : **ING. ABEL RAMOS CUYA**
Director de Oficina de Apoyo Tecnológico

DE : **ING. MAXIMO VICTOR JAUREGUI SOTELO**
Sub Director de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

ASUNTO : Reporte de Elevación de Resultados de Ensayos de Laboratorio
Tesis : Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas
Solicita : Bach.Ing.Vladimir César Fernández Larrauri

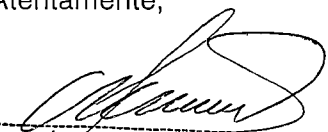
REF. : a) Memorándum N° 091-2006-MTC/14.01.SDMSEM.DL.uma.cfc
b) Carta S/N del 03.05.2006

FECHA : Lima, 19 de Junio del 2006

Me dirijo a usted, con el fin de manifestarle que adjunto al presente sírvase encontrar los documentos de referencia, conjuntamente con el Informe de Ensayo N° 169-2006-MTC/14.01, (04 Folios) con los resultados de ensayos de laboratorio realizados a las muestras de emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, tomadas, remitidas é identificadas por el solicitante, para ser empleada en el desarrollo de la Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas".

Se adjunta proyecto de remisión (06 ejemplares), para su suscripción de encontrarlo conforme.

Atentamente,


ING. MAXIMO VICTOR JAUREGUI SOTELO
JEFE DE SUB DIRECCION DE MECANICA DE SUELOS
Y ENSAYOS DE MATERIALES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

cc:
Dpto. Laboratorio
Memo 373
MVJS/gchm.





MEMORÁNDUM N° 091-2006-MTC/14.01.SDMSEM.DL.uma.cfc.-

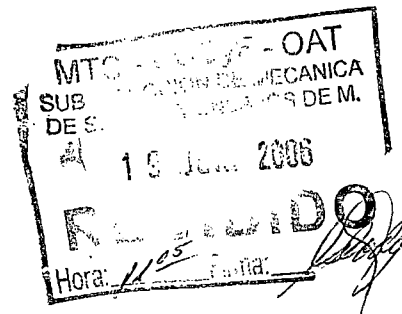
AL : ING. MÁXIMO VICTOR JAÚREGUI SOTELO
Subdirector de Mecánica de Suelos y E.M.

DEL : ING. CÉSAR A. FERREYROS CORCUERA
Jefe Unidad de Asfaltos y Mezclas Asfálticas

ASUNTO : Elevación de Resultados de Ensayos
Tesis: Reciclado en frío de pavimentos flexibles
con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas
Solicita : Bach. Ing°. Vladimir César Fernández Larrauri

REF. : Carta S/N del 03.05.2006

FECHA : Lima, 15 de Junio del 2006



Se adjunta al presente el Informe de Ensayo N° 169-2006-MTC/14.01 (04 folios) con los resultados de ensayos de laboratorio específicamente solicitados con el documento de referencia y realizados a las muestras de emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta; tomadas, remitidas é identificadas por el solicitante, para ser empleadas en el desarrollo de la Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas", la misma que cuenta con Orden de Servicio N°118-2006-MTC/14.01.

Respecto a los ensayos de Recubrimiento del Agregado que no se han efectuado, debe indicarse que según especificaciones técnicas solo se aplica a las emulsiones catiónicas de rotura media.

Agradeceré hacer de conocimiento del interesado.

Atentamente,

Ing. César A. Ferreyros Corcuera
Jefe de Unidad de Asfaltos y Mezclas Asfálticas
Subdirección de Mecánica de Suelos y E.M.

C.C.
Dpto Laboratorio
MAC
Archivo
O.S.N°118/cfc/cfc



OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO

001

INFORME DE ENSAYO N° 169 - 2006- MTC/14.01

SOLICITANTE	: Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA	: Emulsión asfáltica catiónica
DOMICILIO LEGAL	: Calle Siena Mz "L" Lote 7 - Urb. Los Portales de Javier Prado	IDENTIFICACIÓN	: Emulsión asfáltica de rotura lenta sin polímeros*
PROYECTO	: Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas"		Proveedor: Bituper S.A.C.
REFERENCIA	: Carta S/N del 03.05.2006	CANTIDAD	: 10 galones
FECHA DE RECEPCIÓN	: 03.05.2006	PRESENTACIÓN	: Envases plásticos
		FECHA DE ENSAYO	: Del 10/05/06 al 22/05/06

EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIÓNICA

ENSAYOS EN LA EMULSIÓN	NORMA	RESULTADO
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL, 25°C (s)	ASTM D-244/00**	35,1
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO, 24 horas (%)	ASTM D-244/00**	0,4
SEDIMENTACIÓN, 05 días (%)	ASTM D-244/00**	1,2
CARGA DE PARTÍCULAS	ASTM D-244/00**	Positivo
CONTENIDO DE AGUA (%)	ASTM D-244/00**	36,7
RESIDUO POR EVAPORACIÓN (%)	ASTM D-244/00**	62,4
RESIDUO POR DESTILACIÓN (%)	ASTM D-244/00**	62,9
ENSAYOS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACIÓN		
PENETRACIÓN, 25°C, 100g, 5 s, 0,1mm	ASTM D-5 / 97 **	75
DUCTILIDAD, 25 °C, 5 cm/min (%)	ASTM D-113 / 99 **	46
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	ASTM D-2042 / 97 **	99,40

Observaciones:

- (*) Muestra proporcionada e identificada por el solicitante como: Emulsión Asfáltica de rotura lenta sin polímeros; Procedencia: Bituper S.A.C.
- (**) Publicado en Annual Book of ASTM Standards 2001.
- Fecha de Orden de Ensayo: 03/05/2006.
- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



ING. JEFE DE UNIDAD
 Lima, 15 de Junio del 2006

UMA (1/4)
 cfc/npf/lca.
 O.S. N°118





002

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO N° 169 - 2006- MTC/14.01

(VALOR OFICIAL, SEGÚN RESOLUCIÓN N° 0013 - 2005/CRT - INDECOPI)

SOLICITANTE	: Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA	: Emulsión asfáltica catiónica
DOMICILIO LEGAL	: Calle Siena Mz "L" Lote 7 - Urb. Los Portales de Javier Prado	IDENTIFICACIÓN	: Emulsión asfáltica de rotura lenta sin polímeros*
PROYECTO	: Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas"		Proveedor: Bituper S.A.C.
REFERENCIA	: Carta S/N del 03.05.2006	CANTIDAD	: 10 galones
FECHA DE RECEPCIÓN	: 03.05.2006	PRESENTACIÓN	: Envases plásticos
		FECHA DE ENSAYO	: 18.05.2006


ASTM D-244(2000)** STANDARD TEST METHODS FOR EMULSIFIED ASPHALTS

ENSAYO EN LA EMULSIÓN	RESULTADO (% Retenido)
Sieve Test (Tamiz N° 20)	0,31

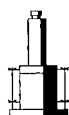
Observaciones:

- (*) Muestra proporcionada e identificada por el solicitante como: Emulsión Asfáltica de rotura lenta sin polímeros; Procedencia: Bituper S.A.C
- (**) Publicado en Annual Book of ASTM Standards 2001, sections 53 - 58.
- Fecha de Orden de Ensayo: 03/05/2006.
- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Registro de Acreditación de INDECOPI N° LE-032.




 ING. JEFE DE UNIDAD
 Lima, 15 de Junio del 2006

UMA (2/4)
cfc/lca.
O.S. N°118





**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
 SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

INFORME DE ENSAYO N° 169 - 2006- MTC/14.01

SOLICITANTE : Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA : Emulsión asfáltica catiónica
DOMICILIO LEGAL : Calle Siena Mz "L" Lote 7 - Urb. Los Portales de Javier Prado	IDENTIFICACIÓN : Emulsión asfáltica de rotura lenta con polímeros*
PROYECTO : Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas"	Proveedor: Emulsiones Asfálticas.
REFERENCIA : Carta S/N del 03.05.2006	CANTIDAD : 10 galones
FECHA DE RECEPCIÓN : 03.05.2006	PRESENTACIÓN : Envases plásticos
	FECHA DE ENSAYO : Del 10/05/06 al 22/05/06

EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIÓICA

ENSAYOS EN LA EMULSIÓN	NORMA	RESULTADO
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL, 25°C (s)	ASTM D-244/00**	22,1
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO, 24 horas (%)	ASTM D-244/00**	0,4
SEDIMENTACIÓN, 05 días (%)	ASTM D-244/00**	0,8
CARGA DE PARTÍCULAS	ASTM D-244/00**	Positivo
CONTENIDO DE AGUA (%)	ASTM D-244/00**	36,4
RESIDUO POR EVAPORACIÓN (%)	ASTM D-244/00**	62,4
RESIDUO POR DESTILACIÓN (%)	ASTM D-244/00**	63,7
ENSAYOS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACIÓN		
PENETRACIÓN, 25°C, 100g, 5 s, 0,1mm	ASTM D-5 / 97 **	66
RECUPERACIÓN ELÁSTICA, 25 °C, 5 cm/min (%)	ASTM D-113 / 99 **	55,0
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	ASTM D-2042 / 97 **	99,88

Observaciones:

- (*) Muestra proporcionada e identificada por el solicitante como: Emulsión Asfáltica de rotura lenta con polímeros; Procedencia: Emulsiones Asfálticas E.I.R.L.
- (**) Publicado en Annual Book of ASTM Standards 2001.
- Fecha de Orden de Ensayo: 03/05/2006.
- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



ING. JEFE DE UNIDAD
 Lima, 15 de Junio del 2006

UMA (3/4)
 cfc/npt/lca.
 O.S. N°118





Ministerio de Transportes y Comunicaciones
Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA
COMISIÓN DE REGLAMENTOS TÉCNICOS Y
COMERCIALES CON REGISTRO N° 032



REGISTRO N° 032

**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

004

**INFORME DE ENSAYO N° 169 - 2006- MTC/14.01
(VALOR OFICIAL, SEGÚN RESOLUCIÓN N° 0013 - 2005/CRT - INDECOPI)**

SOLICITANTE	: Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA	: Emulsión Asfáltica Catiónica
DOMICILIO LEGAL	: Calle Siena Mz "L" Lote 7 - Urb. Los Portales de Javier Prado	IDENTIFICACIÓN	: Emulsión Asfáltica de rotura lenta con polímeros*
PROYECTO	: Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas"		Proveedor: Emulsiones Asfálticas
REFERENCIA	: Carta S/N del 03.05.2006	CANTIDAD	: 10 galones
FECHA DE RECEPCIÓN	: 03.05.2006	PRESENTACIÓN	: Envases plásticos
		FECHA DE ENSAYO	: 09.05.2006

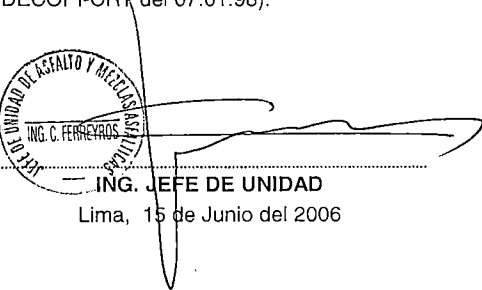
ASTM D-244(2000) STANDARD TEST METHODS FOR EMULSIFIED ASPHALTS**

ENSAYO EN LA EMULSIÓN	RESULTADO (% Retenido)
Sieve Test (Tamiz N° 20)	0,01

Observaciones:

- (*) Muestra proporcionada e identificada por el solicitante como: Emulsión Asfáltica de rotura lenta con polímeros; Procedencia: Emulsiones Asfálticas E.I.R.L.
- (**) Publicado en Annual Book of ASTM Standards 2001, sections 53 - 58.
- Fecha de Orden de Ensayo: 03/05/2006.
- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Registro de Acreditación de INDECOPI N° LE-032.




 ING. JEFE DE UNIDAD
 Lima, 15 de Junio del 2006

UMA (4/4)
cfc/lca.
O.S. N°118



Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rímac, Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677





**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
 SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio – 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
 MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

**MEZCLA TIPO I
 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP)**

MALLAS		NORMAS DE ENSAYO	(RAP)	
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm.)		RET. (%)	PASA (%)
1"	25.400	NTP 400.012.(01)		100
3/4"	19.050		11	89
1/2"	12.700		9	80
3/8"	9.525		8	72
1/4"	6.350		28	44
N° 4	4.760		11	33
N° 6	3.360		7	26
N° 8	2.380		7	19
N° 10	2.000		2	17
N° 16	1.190		7	10
N° 20	0.840		3	7
N° 30	0.590		2	5
N° 40	0.426		2	3
N° 50	0.297		1	2
N° 80	0.177		1	1
N° 100	0.149		1	--
N° 200	0.074		--	
- N° 200	---			
PESO UNITARIO SUELTO (kg/m3)			NTP 400.017 (99)	1166
PESO UNITARIO VARILLADO (kg/m3)		NTP 400.017 (99)	1305	
PESO ESP. BULK (BASE SECA) g/cm3		NTP 400.021 (02)	2.001	
PESO ESP. BULK (BASE SATURADA) g/cm3		NTP 400.021 (02)	2.031	
PESO ESP. APARENTE (BASE SECA) g/cm3		NTP 400.021 (02)	2.064	
ABSORCIÓN (%)		NTP 400.021 (02)	1.5	

Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



UMA (1/18)
 cfc/lca/npf.
 O.S. N° 093



ING° JEFE DE UNIDAD
 Lima, 04 de Agosto del 2006





**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

MEZCLA TIPO I

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO COMBINADO (MUESTRA I)

MALLA SERIE AMERICANA	Identificación	Material Pasante (%)	Gradación Universidad de Illinois
	Diámetro (mm.)		
1"	25.400	100	100
3/4"	19.050	92	90 – 100
1/2"	12.700	84	---
3/8"	9.525	78	60 – 80
1/4"	6.350	59	---
N° 4	4.760	51	35 – 65
N° 6	3.360	43	---
N° 8	2.380	35	20 – 50
N° 10	2.000	32	---
N° 16	1.190	23	---
N° 20	0.840	19	---
N° 30	0.590	15	---
N° 40	0.426	12	---
N° 50	0.297	10	3 – 20
N° 80	0.177	8	---
N° 100	0.149	6	---
N° 200	0.074	5	2 – 15

Dosificación: M-1 = 70.00% RAP + 2.00% (Mat. Aporte 3/4") + 0.40% (Mat. Aporte 3/8") + 27.60% (Mat. Aporte N° 4)

Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).

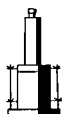


MA (2/18)
Cfc/lca/npf.
O.S. N° 093



ING° JEFE DE UNIDAD

Lima, 04 de Agosto del 2006



**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

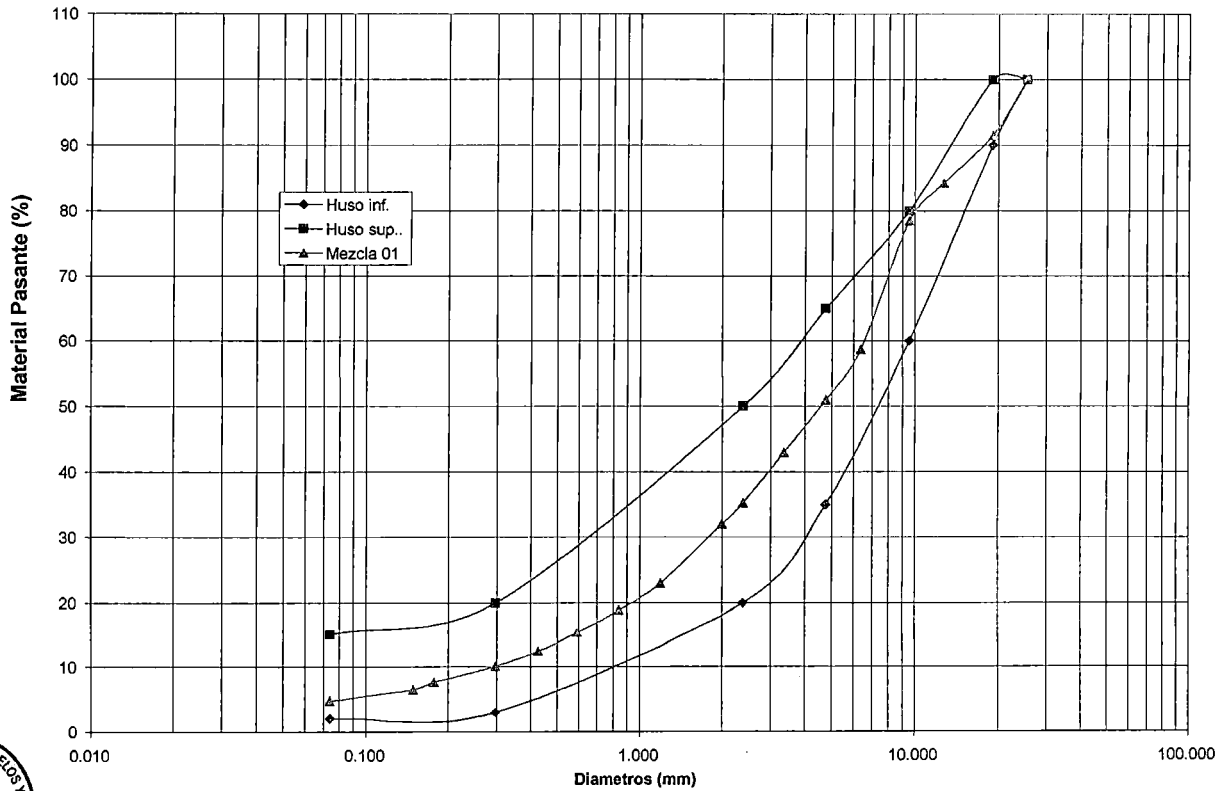
SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

MEZCLA TIPO I

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO COMBINADO (MUESTRA I)



Dosificación: M-1 = 70.00% RAP + 2.00% (Mat. Aporte 3/4") + 0.40% (Mat. Aporte 3/8") + 27.60% (Mat. Aporte N° 4)

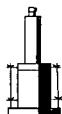
Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).

UMA (3/18)
cfc/lca/npf.
O.S. N° 093

ING° JEFE DE UNIDAD

Lima, 04 de Agosto del 2006





**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica.
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

**MEZCLA TIPO I
ENSAYO DE RECUBRIMIENTO AGREGADO – EMULSIÓN**

Recubrimiento (%)		Agua (%)							
		3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Emulsión (%)	5.0	30.00	30.00	40.00	50.00 (1)	---	---	---	---
	6.0	35.00	40.00	60.00 (1)	70.00 (1)	---	---	---	---
	7.0	60.00 (1)	60.00 (1)	80.00 (1)	80.00 (1)	---	---	---	---
	8.0	60.00 (1)	70.00 (1)	80.00 (1)	80.00 (1)	90.00 (1)	---	---	---
	9.0	50.00 (1)	50.00 (1)	60.00 (1)	60.00 (2)	80.00 (2)	80.00 (3)	---	---
	10.0	40.00	50.00 (1)	60.00 (1)	70.00 (2)	70.00 (2)	90.00 (3)	90.00 (3)	---
	11.0	---	---	---	---	---	---	---	---

Donde:

- (1) Trabajabilidad escasa.
- (2) Trabajabilidad óptima.
- (3) Trabajabilidad óptima con exceso de agua.

Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



ING° JEFE DE UNIDAD

Lima, 04 de Agosto del 2006



MA (4/18)
gic/lca/npf.
O.S. N° 093



LABORATORIO AT

Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rímac, Telf: 481-3707 Fax: 481-0677



**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

MEZCLA TIPO I

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE AGUA EN LA COMPACTACIÓN

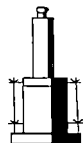
N° Briqueta	3A	3B	3C	4A	4B	4C	5A	5B	5C	6A	6B	6C	7A	7B	7C
Contenido de emulsión (%)	9.00														
Contenido de agua (%)	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00
Contenido de agua representativo (%)	3.00			4.00			5.00			6.00			7.00		
Agregado grueso (%)	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00
Agregado fino (%)	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00
Peso de la briqueta al aire (gr.)	1073.50	1089.40	1076.10	1094.80	1091.10	1089.50	1088.70	1091.40	1083.10	1093.80	1089.20	1086.30	1090.30	1084.40	1046.90
Peso de la briqueta mas parafina en el aire (gr.)	1084.10	1101.60	1084.10	1104.10	1100.20	1098.40	1099.40	1101.40	1092.00	1102.80	1098.50	1095.70	1100.00	1093.80	1052.60
Peso de la briqueta mas parafina en el agua (gr.)	551.10	562.00	552.40	559.00	563.00	559.30	552.00	554.40	559.60	558.50	559.40	556.30	553.20	558.70	528.60
Volumen de la briqueta mas parafina (cm3)	533.00	539.60	531.70	545.10	537.20	539.10	547.40	547.00	532.40	544.30	539.10	539.40	546.80	535.10	524.00
Peso de la Parafina (gr.)	10.60	12.20	8.00	9.30	9.10	8.90	10.70	10.00	8.90	9.00	9.30	9.40	9.70	9.40	5.70
Peso específico de la parafina (gr./cm3)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Volumen de la parafina (cm3)	11.76	13.54	8.88	10.32	10.10	9.88	11.88	11.10	9.88	9.99	10.32	10.43	10.77	10.43	6.33
Volumen de la briqueta (cm3)	521.24	526.06	522.82	534.78	527.10	529.22	535.52	535.90	522.52	534.31	528.78	528.97	536.03	524.67	517.67
Dial	55.00	56.00	57.00	63.00	59.00	62.00	46.00	45.00	45.00	63.00	61.00	60.00	47.00	49.00	44.00
Estabilidad sin corregir (lb.)	55.00	56.00	57.00	63.00	59.00	62.00	46.00	45.00	45.00	63.00	61.00	60.00	47.00	49.00	44.00
Factor de Estabilidad	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90
Estabilidad corregida (lb.)	600	611	622	687	643	676	502	491	491	687	665	654	512	534	480

El Tiempo de curado fue de 24 horas.

UMA (5/18)
cfc/lca/npf.
O.S. N° 093



ING° JEFE DE UNIDAD
Lima, 04 de Agosto del 2006



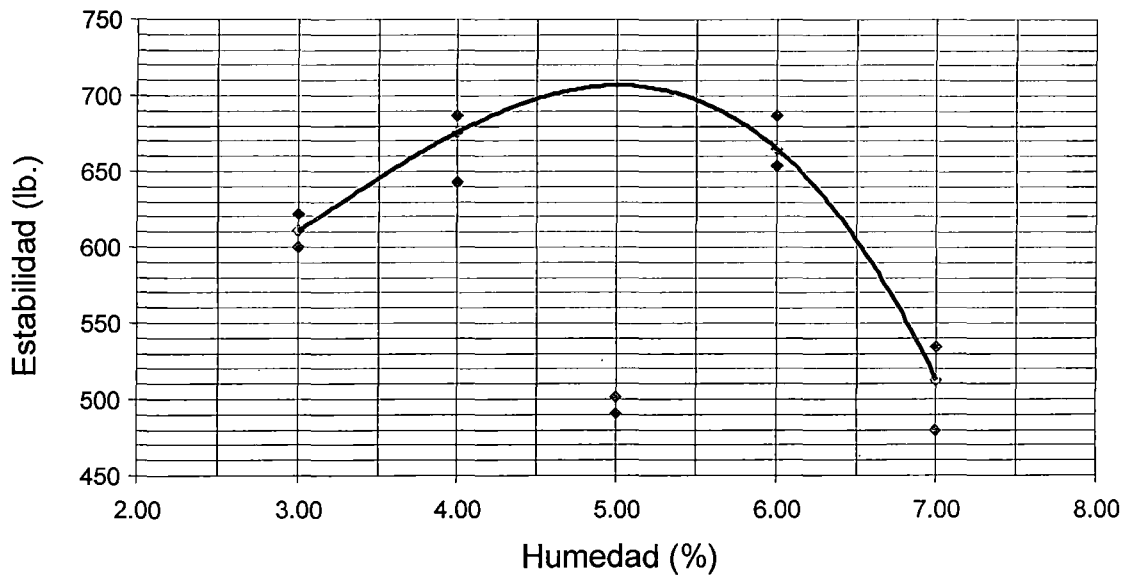
**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

**MEZCLA TIPO I
ÓPTIMO CONTENIDO DE AGUA DE COMPACTACIÓN**



Del gráfico deducimos que: OCHC = 5.00%

Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).

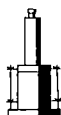


UMA (6/18)
cfc/lca/npf.
O.S. N° 093



ING° JEFE DE UNIDAD

Lima, 04 de Agosto del 2006





**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL :	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

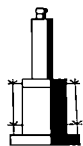
**MEZCLA TIPO I
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN**

ASFALTO		AGREGADO COMBINADO									
Tipo y grado	CSS - 1h - SBR	Identificación de fuente					Carretera Central Tramo San Mateo - La Oroya				
Asfalto en emulsión (%)	63.65	Tipo					70%*RAP + 30%*Mat. Aporte				
Grav. Esp. Asfalto (gr./ cm3)	1.10	Grav. Esp. Bula					2.181				
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		Humedad (%)					0.5				
Agua total en mezcla (%)	8.00	PRUEBA									
Agua agregada (gr.)	75.00	Fecha de ensayo muestra seca					17/07/2006				
Agua al compactar (%)	5.00	Fecha de rotación muestra inmersa					22/07/2006				
Peso específico de la parafina (gr./cm3)	0.901	Fecha de ensayo muestra húmeda					24/07/2006				
Fecha de compactación	14/07/2006	Temperatura (°C)					22.00				
DATOS MUESTRA COMPACTADA	Estado	SECO					HÚMEDO				
	Número de Golpes	75					75				
	Emulsión (%)	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00
	Asfalto Residual (%)	5.09	5.73	6.37	7.00	7.64	5.09	5.73	6.37	7.00	7.64
Estabilidad (lb.)		1261	1436	1604	1705	1806	1061	1149	1141	1086	955
Pérdida de estabilidad (%)		---	---	---	---	---	16	20	29	36	47
Densidad bulk seca (gr./cm3)		1.961	1.980	1.998	2.001	1.988	1.907	1.969	1.959	1.935	1.910
Humedad absorbida (%)		---	---	---	---	---	4.03	3.19	2.31	1.37	0.38
Vacío total máximo (%)		5.70	4.83	3.94	3.80	4.41	---	---	---	---	---
Flujo (0.01pulg.)		12	14	15	16	17	11	13	14	15	16

UMA (7/18)
cfc/lca/npf.
O.S. N° 093



ING° JEFE DE UNIDAD
Lima, 04 de Agosto del 2006





Ministerio de Transportes y Comunicaciones
Dirección General de Caminos y Ferrocarriles
Oficina de Apoyo Tecnológico

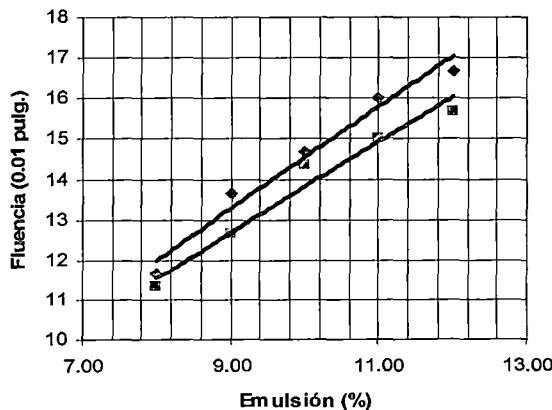
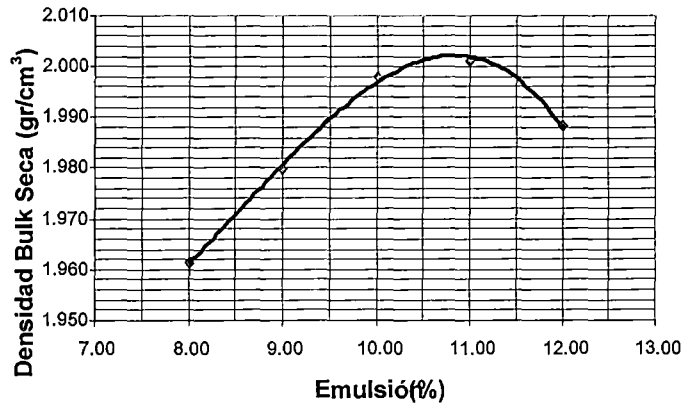
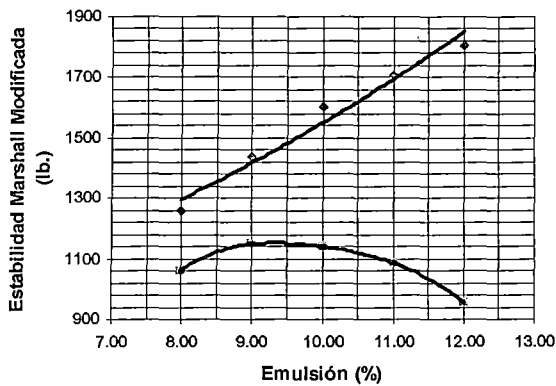
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS

MEZCLA TIPO I
CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO



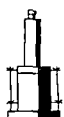
Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).

UMA (8/18)
cfc/lca/mpf.
O.S. N° 093



ING° JEFE DE UNIDAD
Lima, 04 de Agosto del 2006



LABORATORIO AT

Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rímac, Telf: 481-3707 Fax: 481-0677



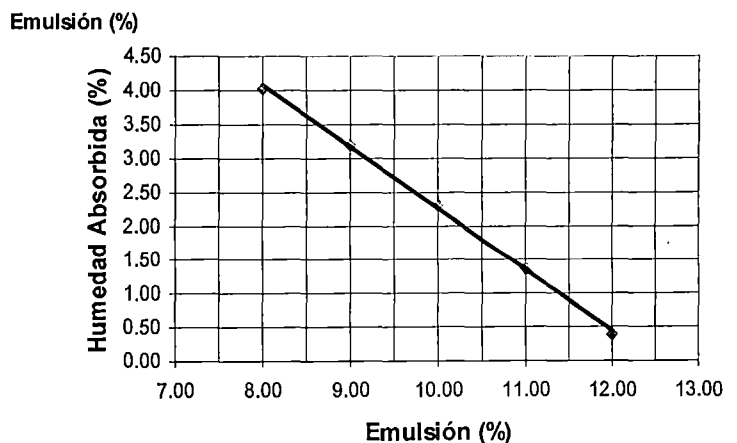
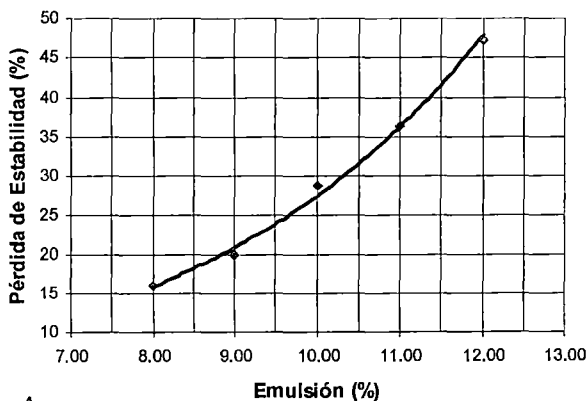
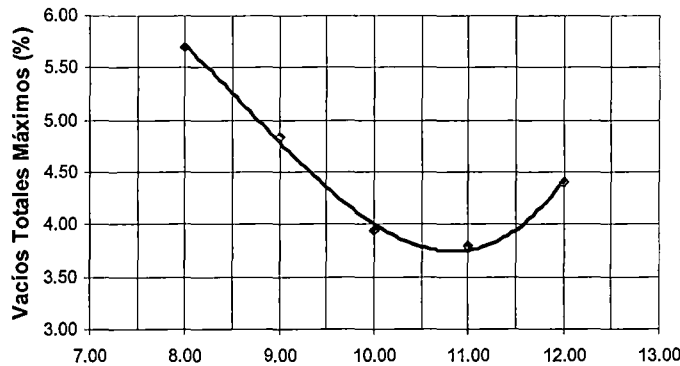
**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO Nº 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ingº Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

**MEZCLA TIPO I
CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO**



Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución Nº 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



MA (9/18)
cfc/lca/npf.
O.S. Nº 093



ING. JEFE DE UNIDAD

Lima, 04 de Agosto del 2006





**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
 SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
 MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

**MEZCLA TIPO II
 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO COMBINADO (MUESTRA II)**

MALLA SERIE AMERICANA	Identificación	Material Pasante (%)	Gradación Universidad de Illinois
	Diámetro (mm.)		
1"	25.400	100	100
3/4"	19.050	92	90 – 100
1/2"	12.700	84	---
3/8"	9.525	78	60 – 80
1/4"	6.350	60	---
N° 4	4.760	51	35 – 65
N° 6	3.360	43	---
N° 8	2.380	36	20 – 50
N° 10	2.000	33	---
N° 16	1.190	24	---
N° 20	0.840	20	---
N° 30	0.590	17	---
N° 40	0.426	14	---
N° 50	0.297	12	3 – 20
N° 80	0.177	9	---
N° 100	0.149	8	---
N° 200	0.074	6	2 – 15

Dosificación: M-2 = 50.00% RAP + 8.00% (Mat. Aporte 3/4") + 8.00% (Mat. Aporte 3/8") + 34.00% (Mat. Aporte N° 4)

Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).

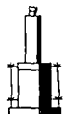


UMA (10/18)
 cfc/lca/npf.
 O.S. N° 093



ING° JEFE DE UNIDAD

Lima, 04 de Agosto del 2006





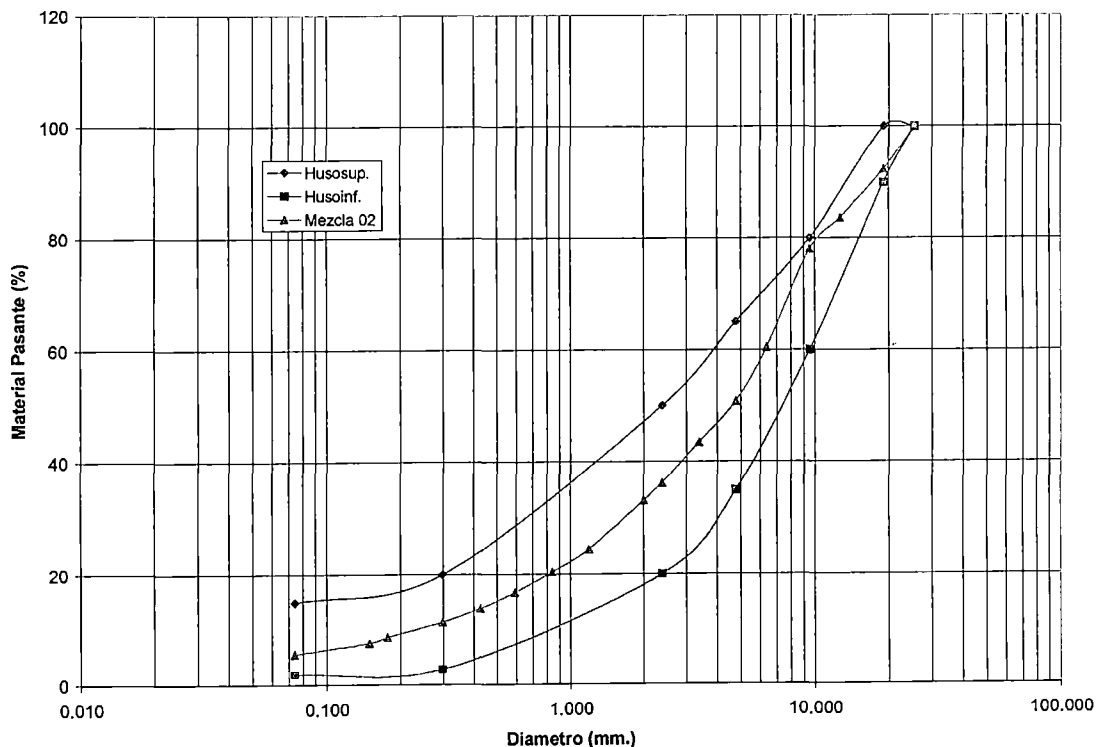
**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

**MEZCLA TIPO II
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO COMBINADO (MUESTRA II)**



Dosificación: M2 = 50.00% RAP + 8.00% (Mat. Aporte 3/4") + 8.00% (Mat. Aporte 3/8") + 34.00% (Mat. Aporte N° 4)

Observaciones:

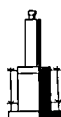
- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).

UMA (11/18)
cfc/lca/npf.
O.S. N° 093



ING° JEFE DE UNIDAD

Lima, 04 de Agosto del 2006



LABORATORIO AT



**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
 SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio – 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
 MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

**MEZCLA TIPO II
 ENSAYO DE RECUBRIMIENTO**

Recubrimiento (%)	Agua (%)								
	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
Emulsión (%)	5.0	---	---	---	---	---	---	---	---
	6.0	---	---	---	---	---	---	---	---
	7.0	---	---	---	---	---	---	---	---
	8.0	---	---	---	65.00 (1)	75.00 (1)	---	---	---
	9.0	---	---	---	---	90.00 (1)	95.00 (1)	---	---
	10.0	---	---	---	---	---	90.00 (2)	90.00 (2)	---
	11.0	---	---	---	---	---	---	90.00 (2)	95.00 (2)

Donde:

- (1) Trabajabilidad escasa.
- (2) Trabajabilidad óptima.
- (3) Trabajabilidad óptima con exceso de agua.

Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



ING° JEFE DE UNIDAD
 Lima, 04 de Agosto del 2006

UMA (12/18)
 cfc/lca/npf.
 O.S. N° 093





**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
 SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
 MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

MEZCLA TIPO II

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE AGUA EN LA COMPACTACIÓN

N° Briqueta	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C	5A	5B	5C	6A	6B	6C
Contenido de emulsión (%)	10.00														
Contenido de agua (%)	2.00	2.00	2.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00
Contenido de agua representativo (%)	2.00			3.00			4.00			5.00			6.00		
Agregado grueso (%)	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00
Agregado fino (%)	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00
Peso de la briqueta al aire (gr.)	1098.00	1093.30	1097.80	1107.10	1113.00	1103.40	1106.10	1116.70	1109.60	1100.60	1106.30	1111.50	1098.60	1101.10	1102.80
Peso de la briqueta mas parafina en el aire (gr.)	1107.80	1101.70	1101.80	1117.20	1122.60	1111.70	1115.00	1126.10	1117.60	1109.70	1114.50	1119.50	1108.50	1110.80	1111.60
Peso de la briqueta mas parafina en el agua (gr.)	557.60	564.10	558.20	560.80	568.80	573.70	566.20	568.70	576.70	569.50	569.50	566.20	575.10	565.30	572.80
Volumen de la briqueta mas parafina (cm3)	550.20	537.60	543.60	556.40	553.80	538.00	548.80	557.40	540.90	540.20	545.00	553.30	533.40	545.50	538.80
Peso de la Parafina (gr.)	9.80	8.40	4.00	10.10	9.60	8.30	8.90	9.40	8.00	9.10	8.20	8.00	9.90	9.70	8.80
Peso específico de la parafina (gr./cm3)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Volumen de la parafina (cm3)	10.88	9.32	4.44	11.21	10.65	9.21	9.88	10.43	8.88	10.10	9.10	8.88	10.99	10.77	9.77
Volumen de la briqueta (cm3)	539.32	528.28	539.16	545.19	543.15	528.79	538.92	546.97	532.02	530.10	535.90	544.42	522.41	534.73	529.03
Dial	43.00	41.00	39.00	47.00	49.00	51.00	41.00	44.00	43.00	49.00	47.00	45.00	44.00	42.00	40.00
Estabilidad sin corregir (lb.)	43.00	41.00	39.00	47.00	49.00	51.00	41.00	44.00	43.00	49.00	47.00	45.00	44.00	42.00	40.00
Factor de Estabilidad	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90
Estabilidad corregida (lb.)	469	447	425	512	534	556	447	480	469	534	512	491	480	458	436

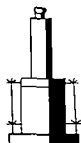
El tiempo de curado fue de 24 hrs.

UMA (13/18)
 cfc/lca/mpf.
 O.S. N° 093



ING° JEFE DE UNIDAD

Lima, 04 de Agosto del 2006



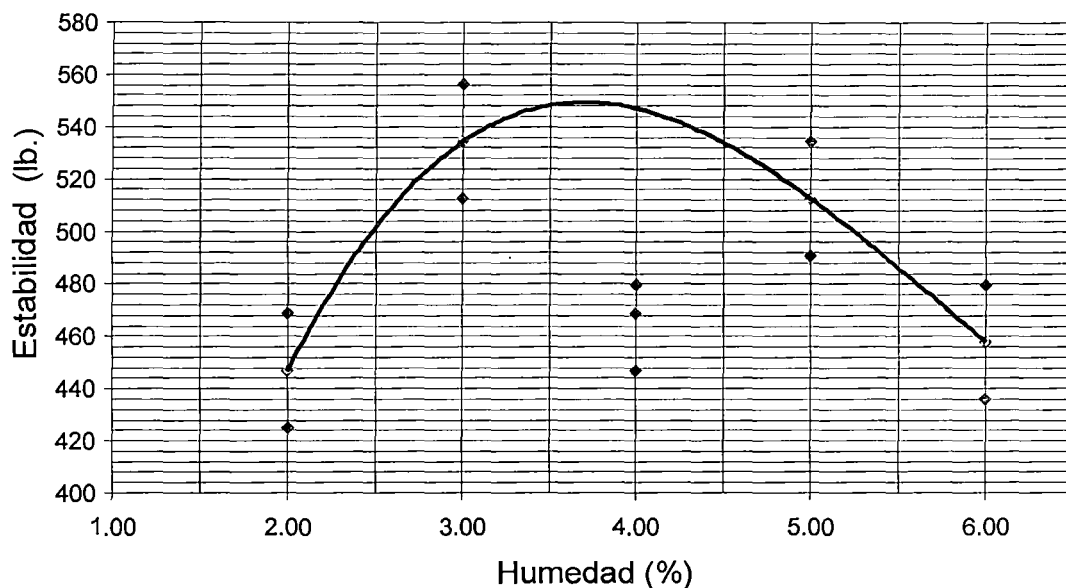
**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

**MEZCLA TIPO II
ÓPTIMO CONTENIDO DE AGUA EN COMPACTACIÓN**



Del gráfico deducimos que: OCHC = 3.60%

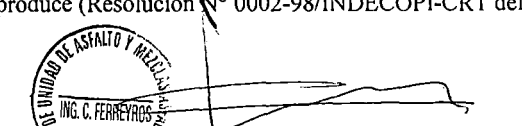
Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



UMA (14/18)
cfc/lca/npf.
O.S. N° 093




 ING° JEFE DE UNIDAD
 Lima, 04 de Agosto del 2006





**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
 SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
 MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

MEZCLA TIPO II

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE AGUA EN LA COMPACTACIÓN

ASFALTO		AGREGADO COMBINADO									
Tipo y grado	CSS - 1h - SBR	Identificación de fuente					Carretera Central Tramo San Mateo - La Oroya				
Asfalto en emulsión (%)	63.65	Tipo					50%*RAP + 50%*Mat. Aporte				
Grav. Esp. Asfalto (gr./ cm3)	1.10	Grav. Esp. Bulk					2.307				
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		Humedad (%)					0.5				
Agua total en mezcla (%)	9.00	PRUEBA									
Agua agregada (gr.)	85.00	Fecha de ensayo muestra seca					17/07/2006				
Agua al compactar (%)	5.00	Fecha de rotación muestra inmersa					22/07/2006				
Peso específico de la parafina (gr./cm3)	0.901	Fecha de ensayo muestra húmeda					24/07/2006				
Fecha de compactación	14/07/2006	Temperatura (°C)					22.00				
DATOS MUESTRA COMPACTADA	Estado	SECO					HÚMEDO				
	N° de Golpes	75					75				
	Emulsión (%)	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00
	Asfalto Residual (%)	4.46	5.09	5.73	6.37	7.00	4.46	5.09	5.73	6.37	7.00
Estabilidad (lb.)		1767	1582	1247	1014	846	442	545	781	954	909
Pérdida de estabilidad (%)		---	---	---	---	---	75	66	37	6	-7
Densidad bulk seca (gr./cm3)		1.963	1.983	1.995	2.025	2.031	1.976	1.991	2.005	2.017	2.012
Humedad absorbida (%)		---	---	---	---	---	5.08	3.52	2.52	0.93	0.34
Vacío total máximo (%)		10.89	9.99	9.41	8.02	7.77	---	---	---	---	---
Flujo (0.01 pulg.)		12	13	14	15		11	12	13	14	15

UMA (15/18)
 cfc/lca/npf.
 O.S. N° 093



ING° JEFE DE UNIDAD
 Lima, 04 de Agosto del 2006



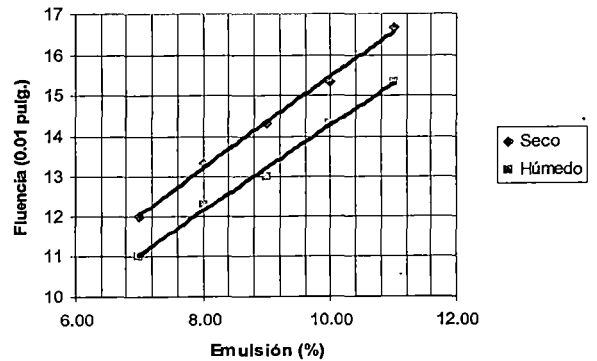
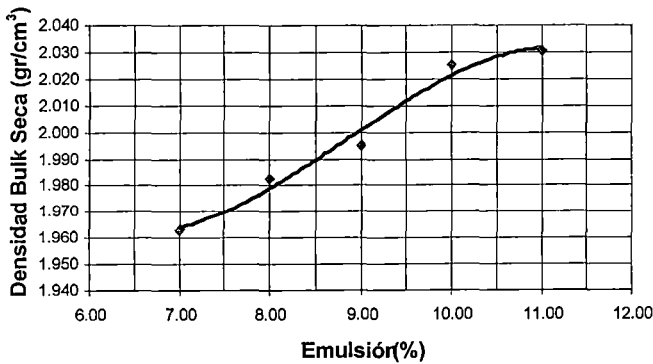
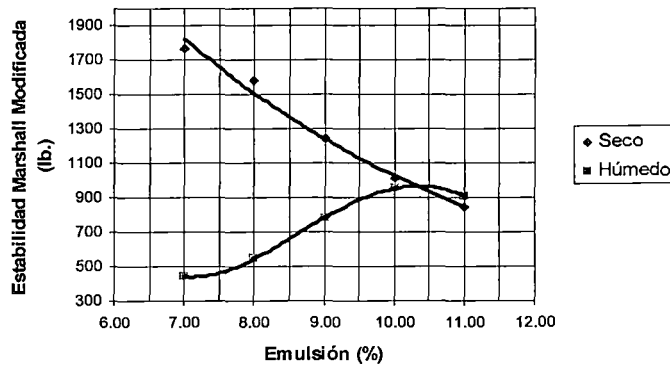
**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
 SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
 MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

**MEZCLA TIPO II
 CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO**



Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



UMA (16/18)
 cfc/lca/npf.
 O.S. N° 093



ING° JEFE DE UNIDAD

Lima, 04 de Agosto del 2006





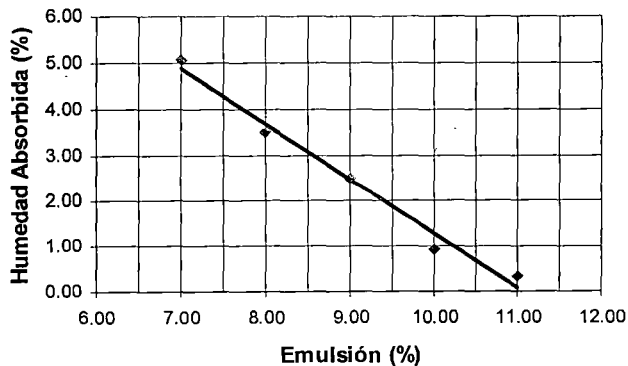
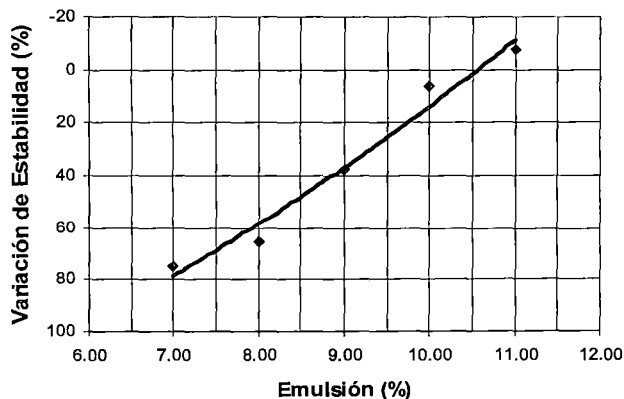
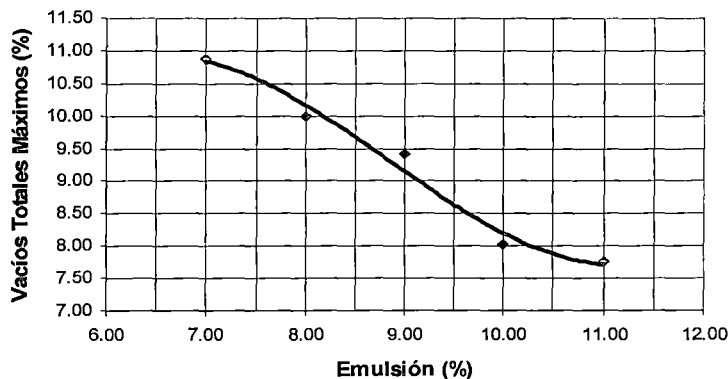
**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
 SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
 MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

**MEZCLA TIPO II
 CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO**



Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



UMA (17/18)
 cfc/lca/npf.
 O.S. N° 093



ING. JEFE DE UNIDAD
 Lima, 04 de Agosto del 2006





**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
 SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 125 – 2006 - MTC/14.01.

SOLICITANTE :	Bach. Ing° Vladimir César Fernández Larrauri	MUESTRA :	Agregados y emulsión asfáltica
DOMICILIO LEGAL:	Calle Siena Mz. "L" Lote 7 Urb. Los Portales de Javier Prado.	IDENTIFICACIÓN :	La que se indica
PROYECTO :	Tesis: "Reciclado en frío de pavimentos flexibles con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas"	CANTIDAD :	115kg a 326kg y 05 galones
REFERENCIA :	Carta S/N del 04.04.2006	PRESENTACIÓN :	Sacos y envase plástico
FECHA DE RECEPCIÓN :	04.04.2006	FECHA DE ENSAYO :	Julio - 2006

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA AGREGADO – EMULSIÓN
 MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS**

**MEZCLA TIPO II
 CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS**

Parámetro	Tipo I	Tipo II	Mínimo	Máximo
Estabilidad (lb.)	1150.00	980.00	500.00	.-
Vacíos Totales (%)	4.60	7.80	2.00	8.00
Perdida de Estabilidad (%)	23.00	5.00	.-	50.00
Humedad Absorbida (%)	3.00	0.80	.-	4.00
Recubrimiento de Agregado Combinado (%)	80.00	80.00	50.00	.-
Óptimo Contenido de Emulsión (%)	9.25	10.40	.-	.-

Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).



—ING° JEFE DE UNIDAD
 Lima, 04 de Agosto del 2006

UMA (18/18)
 cfc/lca/npf.
 O.S. N° 093



C. ÁLBUM FOTOGRÁFICO

SUELOS Y AGREGADOS



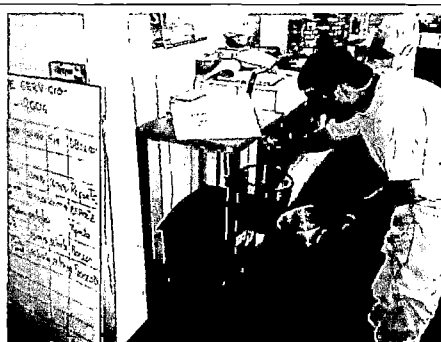
Lavado por la Malla Nº 200



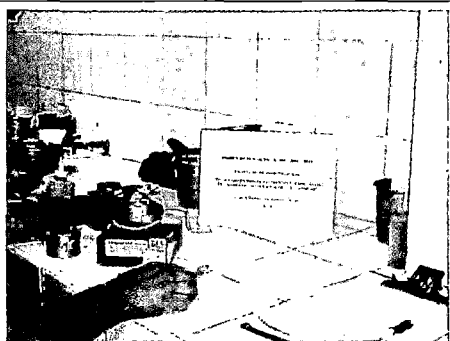
Saturación del Agregado



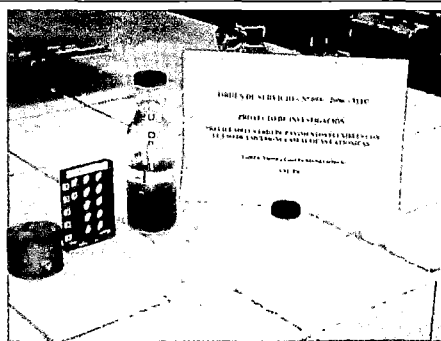
Aireación del Agregado



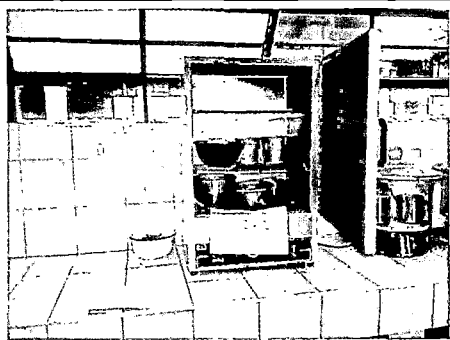
Gravedad Específica



Limites de Consistencia



Impurezas Orgánicas

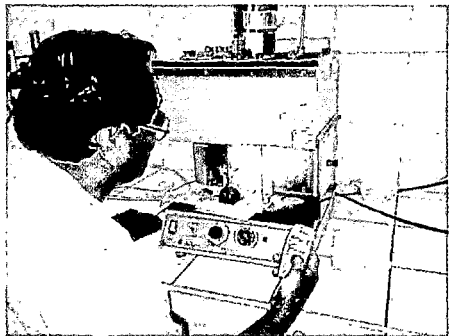


Contenido de Humedad



USA - OAT

EMULSIONES Y ASFALTOS



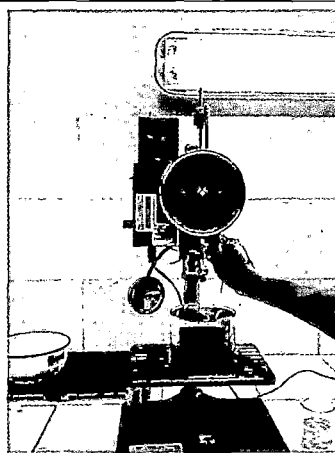
Viscosidad Saybolt Furol



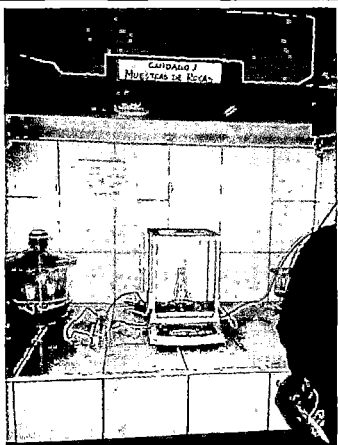
Baño María



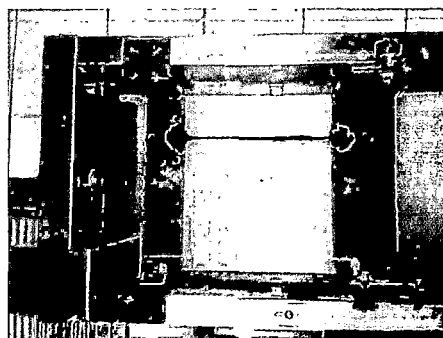
Muestreo del Asfalto



Penetración

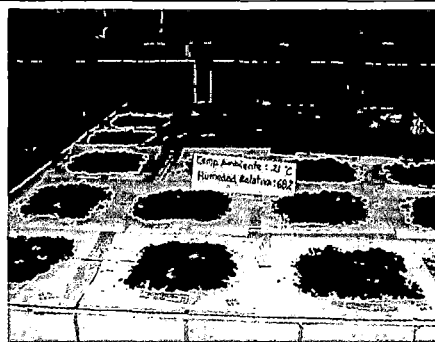


Peso Específico

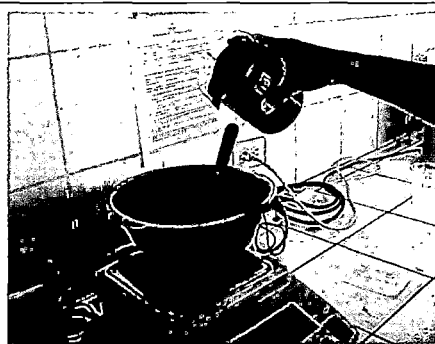


Ductilidad

MEZCLAS BITUMINOSAS



Recubrimiento de la Emulsión

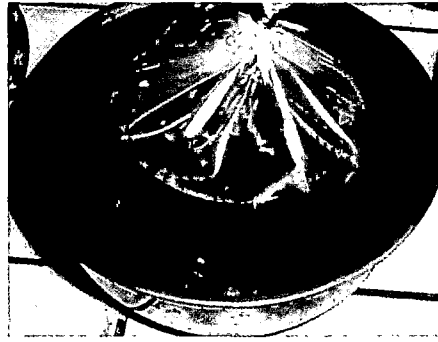
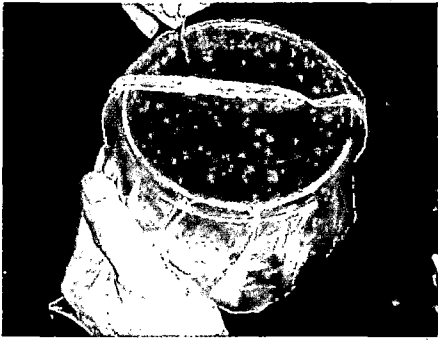


Preparación de Mezcla



Compactación de la Mezcla

MEZCLAS BITUMINOSAS



Preparación de la Muestra para Condiciones Húmedas



UMA - OAT