

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO



***"ANTEPROYECTO DE PRODUCCION
DE ASFALTOS INDUSTRIALES"***

TESIS:
**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO PETROQUIMICO**

Manuel Galdo Rivarola

Promoción 89-I

LIMA - PERU - 1995

PROYECTO DE PRODUCCION DE ASFALTOS INDUSTRIALES

INDICE

- RESUMEN (Página 1)
- CONCLUSIONES (Página 2)
- RECOMENDACIONES (Página 4)
- I. INTRODUCCION (Página 5)
 - 1.1 Principales consumidores de asfaltos sólidos industriales. (Página 6)
 - 1.2 Usos alternativos de los asfaltos sólidos industriales. (Página 15)
- II. Concepto del asfalto (Página 16)
 - Definición de base asfáltica y factores que influyen en su calidad. (Página 18)
 - 2.1 Naturaleza química del asfalto (página 20)
 - 2.2 Propiedades de los materiales asfálticos. (Pag.21)
 - 2.3 Ensayos de los materiales asfálticos. (Pag.22)
- 3. Manufactura del asfalto (Página 25)
- 4. Estudio de Asfaltos Industriales (página 25)
 - 4.1 Oxidación de los asfaltos.
 - 4.2 Naturaleza química de la oxidación de los Asfaltos.
 - 4.3 Asfaltos líquidos.
 - 4.4 Asfaltos para pavimentos
 - Cementos Asfálticos
 - Cutback
 - Emulsiones asfálticas
- 5. Tecnología del Proceso (Página 29)
 - 5.1 Descripción del Proceso.
 - 5.1.1 Asfalto soplado en forma convencional.
 - 5.1.2 Asfalto soplado catalíticamente
 - 5.1.3 Soplado catalítico con P_2O_5
 - 5.2 Normas de Control de Calidad.
- 6. Ingeniería General del Proceso (Página 39)
 - 6.1 Diagrama de flujo
 - 6.2 Cálculos Básicos
 - 6.3 Distribución de la Planta
- 7. Estudio del Mercado (página 52)
 - 7.1 Obtención y disponibilidad de las materias primas.
 - 7.1.1 Procedencia y características del Crudo.
 - 7.2 Tendencia de la Demanda y Proyección.
Explicación de los criterios utilizados en la proyección de la demanda. (Página 57)
 - 7.3 Consumo a nivel nacional.
 - 7.4 Distribución de Ventas a nivel Nacional

8. Evaluación Económica (página 60)

8.1 Inversión.

Análisis respecto al transporte del asfalto sólido industrial.(Pag.62)

8.2 Financiamiento.(Pag.65)

8.3 Gastos del proyecto.

8.3.1 Lista de precios de venta de asfaltos sólidos industriales.(Pag.72)

8.4 Punto de Equilibrio.

8.5 Rentabilidad.

8.6 Análisis de Sensibilidad.(Pag.74)

9. Bibliografía.(Página 80)

10. Anexos.(Página 82)

RESUMEN

El objetivo de esta tesis es evaluar la factibilidad de instalar una planta de producción de asfaltos industriales en la refinería Conchán, perteneciente a **PETROPERU**.

Del análisis de la literatura sobre asfaltos oxidados se opta por la producción en un sistema batch por la diversidad de productos que se puede obtener

La inversión requerida es de US\$ 1332644 de los cuales el 20% corresponde a **PETROPERU** y 80% al Banco Mundial, préstamo que se pagará en diez años.

Se aprecia de la tabla de distribución de ventas que el 87% se producen en la región metropolitana y sur por lo cual es conveniente producir asfalto en Lima para así reducir los costos de transporte.

La evaluación económica del proyecto da una rentabilidad de 21%, una tasa interna de retorno de 18%, siendo esta última mayor que la tasa activa que es de 9%.

El análisis de sensibilidad tanto para ingresos como para egresos es satisfactorio.

La inversión requerida es de US\$ 1332644, de los cuales US\$ 747227 corresponden a los costos directos de instalación y equipos, US\$ 237771 a costos indirectos (ingeniería, supervisión y gastos de construcción), US\$ 147750 de honorarios de contratista y eventuales y finalmente US\$ 199897 de capital de trabajo.

CONCLUSIONES

1. Se logra reducir el tiempo de soplado del asfalto, haciendo uso de un oxidador vertical provisto de un agitador.

Debido a la diversidad de productos que se puedan requerir se opta por un proceso intermitente.

3.- El proyecto contempla una inversión de US\$ 1332644 obteniéndose un producto cuyo costo unitario es de \$ 1.90 por galón.

4.- Como se puede apreciar en la tabla histórica de distribución de ventas el 87% de estas se realizaron entre la región metropolitana y la región sur.

5.- La importación de asfalto sólido industrial superaría largamente el precio de venta local, ya que por tratarse de un hidrocarburo sólido debe ser traído por vía terrestre lo que resulta muy caro.

Es mucho más fácil y barato traer el crudo líquido por barco desde el norte teniendo en cuenta que en la refinería Conchán existen líneas submarinas para desembarcar hidrocarburos líquidos. Otro inconveniente para importar asfalto es que los pedidos se deben hacer en grandes volúmenes no de acuerdo a los requerimientos del mercado en cada momento.

6.- Con el crudo proveniente de la selva se puede obtener asfalto con una penetración menor que con el crudo de Talara.

7.- La temperatura flash del producto es de 260°C.

8.- Durante el proceso de oxidación es muy importante introducir vapor para disminuir la concentración de oxígeno.

9.- El agua de enfriamiento no debe ser utilizada a temperaturas menores de 205°C ya que puede quedar atrapada en el asfalto.

10.- Del análisis económico resulta una rentabilidad de 21%, una tasa interna de retorno de 18% que es mayor que la tasa activa que es de tan sólo 9%, justificándose de esta manera la ejecución del proyecto.

El VAN (al 9%) resulta US \$467035 lo que demuestra que el proyecto es viable.

RECOMENDACIONES

1.- Se debe hacer uso de un oxidador vertical por su eficiencia, el cual debe estar provisto de un agitador el cual tiene como finalidad reducir el tiempo de soplado.

2.- Se debe implementar un sistema BATCH ya que así se podrá obtener diversidad de productos.

3.- La inversión requerida es de US \$ 1332644 para lo cual se debe solicitar un préstamo al BANCO MUNDIAL de US \$1066115 que equivale al 80% del dinero requerido, PETROPERU o el estado peruano aportará US \$ 266529 que equivale al 20%.

4.- Se debe producir asfaltos industriales en la refinería de **CONCHAN** para así reducir los costos de flete, teniendo en cuenta que la gran mayoría de las ventas históricamente se han realizado entre la región metropolitana y la región sur.

5.- No es recomendable importar asfaltos industriales ya que el costo del transporte es bastante elevado.

6.- Es recomendable optar por el crudo LORETO/ECUADOR, ya que con este se puede obtener asfalto con bajo valor de penetración.

7.- La temperatura de soplado no debe exceder de 260°C.

8.- Se debe introducir vapor para disminuir la concentración de oxígeno, el cual se encuentra a altas temperaturas en presencia de combustible, evitándose de esta manera incendios.

9.- El agua de enfriamiento debe ser cortada antes que el asfalto alcance la temperatura de 205°C.

I. INTRODUCCION

En el presente siglo se alcanzó un considerable progreso en el uso comercial y desarrollo de los asfaltos oxidados, su multiplicidad de usos especiales en la industria de protección y como adhesivos, motivaron una mayor dedicación para adoptar el mejor proceso de obtención de asfaltos sopladados para un residuo con especificaciones determinadas.

Actualmente en nuestro país, Petróleos del Perú produce en la refinería Talara asfaltos industriales y cubre totalmente la demanda del mercado nacional.

Por lo tanto el objetivo de este trabajo es evaluar la factibilidad de instalar una planta productora de asfaltos oxidados en la refinería Conchán.

Este estudio permitirá determinar el proceso más adecuado para la producción de asfaltos industriales, para lo cual se considerará las tecnologías que actualmente se usan, optando por la más aceptable para los residuos asfálticos que se dispone.

La razón por la que se debe producir asfaltos industriales es porque PetroPerú produce asfalto para pavimentos en la refinería Conchán y abastece totalmente el mercado nacional.

Se producirá asfaltos industriales en la refinería Conchán debido a que el 78% de las ventas se producen en la región metropolitana y 9% en la región sur, razón por la cual se conseguirá un considerable ahorro en lo que al transporte se refiere, tal como se demuestra en el análisis realizado.

PRINCIPALES CONSUMIDORES DE ASI
(BARRILES)

	<u>1992</u>	<u>1991</u>
DIPECO	36	66
HORMEC	48	70
J.Y M CABRERA	428	646
<u>TOTAL DISTRIBUIDORES</u>	<u>464</u>	<u>712</u>
CEPER(conductores electricos)	14	40
QUIMICA ESPECIALIZADA	51	25
ARENA Y AGREGADOS	18	81
HB. FULLER	10	2
TEROPER S.A	29	61
CIA DE PILAS Y LINTERNAS	418	345
PISOPAK	1120	992
CLIENTES VARIOS (DISTRIBUIDORES)	159	124
IMEHERSA	12	16
INDUSTRIAS REUNIDAS (INRE S.A.)	40	70
PRESERVANTES DE MADERA	58	32
GRANA Y MONTERO (CONSTRUCCION)	12	5
RICARDO NORIEGA (DISTRIBUIDOR)	118	23
HORME (CONSTRUCTORA)	60	59
<u>ESTACIONES SIN CONTRATO</u>		
DIST.SAN ANTONIO	5	3
SERV.ZEGARRA	14	5
GRIFO GARCIA	7	3
LOGSA	14	3
GRIFO PEREZ	7	3
<u>TOTAL</u>	<u>47</u>	<u>17</u>

	<u>1992</u>	<u>1991</u>
RUBATTO SALAZAR	8	19
SODIMASA	14	27
COMERCIAL MACEDO	30	115
CIENTES VARIOS (DISTRIBUIDORES)	264	225
<u>OTROS CONSUMIDORES</u>		
CAMPANA NIEVES	5	2
SIOLA	16	5
MEJIA CAIRO	64	29
EMPL.PETROPERU	3	3
<u>TOTAL</u>	<u>88</u>	<u>39</u>
TEXAS PETROLEUM	11	17
LUDQUIMICA	10	15
BATERIAS CAPSA	86	33
<u>DISTRIBUIDORES</u>		
SERV. Y VENTAS DE LA CUADRA LUBRIC. MIRAMAR	285	341
<u>TOTAL (Bbs)</u>	<u>45</u>	<u>54</u>
	330	395
CEPPER CONDUCTORES	7	3
INDUSTRIAL POLUX	25	25
SOUTHERN	9	3
INRES S.A.	52	105
JOAQUIN PLANAS (DISTRIBUIDOR)	44	15
NORQUIMICA	1	1
HUGHES SERVICE	2	2
INTERN. MARINE	5	5
P.M.S.A.	9	6
NORQUIMICA	34	4
<u>TOTAL</u>	<u>50</u>	<u>17</u>
CIENTES VARIOS	139	83
<u>OLEOCENTROS</u>		
PAREDES LEON	4	2
LUBRICANTES	6	2

MONTALVA	5	2
CHAVEZ CABANILLAS	39	29
MINERO PERU	30	40
MINERA STA ISABEL	14	20
RODRIGUEZ(VIDRIOS, CERAMICAS)	34	24
MOBESA(ALIMENTOS Y BEBIDAS)	3	8
COMERCIAL UNION	10	23
INGENIEROS ASOC.	171	47
PONCE RAMIRO	115	112
TRANS.CARRANZA	3	8
CLIENTES VARIOS	54	39
EMPL.PETROPERU	3	3
SIDERURGICA PERU	152	323
ORTIZA SILVA (SIN CONTRATO)	9	6
OLEDCENT AUTONIC	9	6
CHINECAS	38	5
MINERA TINTAY	15	7
CLIENTES VARIOS	711	643
DISTR. DEL CARPIO	13	18
SERCA SCR	21	39
SERVICENTRO SAN GERONIMO	5	3
CANEPA Y CIA	14	6
ROPECAR SCRL	41	8
MINERO PERU	108	196
CONSTRUCCION		
FRANKLIN RAMOS	20	54
GUCSA	27	73
TOTAL	47	127
CLIENTES VARIOS	58	33
<u>ANO</u>	<u>1992</u>	<u>1991</u>
REGION LIMA Y SUR (Bbls)	5443	5488
NIVEL NACIONAL (Bbls)	6256	6309

CONSUMIDORES ASFALTOS SOLIDOS**(Barriles)**

CLIENTE	1993
W.CARTY S.R.L	65
ASESORIA COMERC.	3
J.Y.M CABRERA	41
UDOQUIMICA	7
CLIENTES VARIOS	3
DIPECO S.R	1333
J.Y.M CABRERA	1039
MOLIN.SAN MARTIN	87
CLIENTES VARIOS	2
CEPER	12
IND.ATE	7
SOC.VULCANO	13
E.Y.M.REPRESENT.	2
PISOPAK	54
EMP.MUNICIPAL	13
QUIMICA ESPEC.	82
MUNIC.CHORRILLOS	3
ARENA Y AGREGADOS	7
C.TIZON	5
H.B.FULLER	7
CIA DE PILAS	8
JETEC	5
PISOPAK	1565
CUENTES VARIOS	162
INDECO	3
PRESERVANTES DE MADERA	54
INRES S.A	72
IND.LENCHÉ	5
JERI SUI TO	10
CONSTRUCTORA 2 DE MAYO	5
EDIFICACIONES Y ANEXOS	17
GRANA Y MONTERO	8
RICARDO NORIEGA	525
CHEN MASTER	12
RETEISA	13

TECNOCAUCHO	26
ELECTROLIMA	13
CAPSA	25
LUBRICANTES MIRAMAR	15
SERVICIO Y VENTAS DE LA CUADRA	328
CEPER	2
CIA INDUSTRIAL	6
POLUX	
SOUTHERN	52
INRESA	58
TECNOCAUCHO	25
SIDERPERU	282
FERRETERIA PACIFICO	24
CLIENTES VARIOS	50
TINTAY	22
ELECSUR	30
SOCIEDAD ELECTRICA	7
CLIENTES VARIOS	550
EMPLEADOS PETROPERU	3
DIST. DEL CARPIO	10
SERCA	27

<u>ANO</u>	<u>1993</u>
REGION LIMA Y SUR (Bbls)	6948
NIVEL NACIONAL (Bbls)	7987

USOS QUE LE DAN AL ASFALTO SOLIDO INDUSTRIAL LOS PRINCIPALES

CONSUMIDORES

PISOPAK

Ha sido el principal consumidor de asfaltos sólidos industriales en los últimos años.

Utilizan el ASI como pegamento de pisos de parquet, vinílicos y asfálticos. Utilizan el ASI como adhesivo para pisos de vinil asbesto.

El asfalto sólido industrial es calentado hasta hacerse líquido y luego es utilizado como pegamento.

Al colocar las piezas del piso, se presionarán del centro hacia la orilla con el objeto de expulsar el aire atrapado.

Pisopak prefiere el ASI al pegamento sintético por las siguientes razones:

Es más barato.

Es altamente resistente a las condiciones ambientales.

Mantiene su capacidad adhesiva por muchos años.

Es estable, no se estropea en presencia de agua.

COMPAÑIA DE PILAS Y LINTERNAS

RAYOVAC Y BATERIAS CAPSA

Estas empresas son consumidores importantes de ASI.

Utilizan ASI para el sellado de celdas galvánicas y acumuladores sometidos a soluciones ácidas.

Las razones por las que utilizan ASI son las siguientes:

El ASI tiene un alto punto de fusión.

El ASI tiene buena adhesividad e impermeabilidad.

Es resistente a soluciones ácidas que se utilizan en los acumuladores.

Modo de empleo:

Se calienta el producto, se vaca cuidadosamente sobre las ranuras de los acumuladores o celda. La operación se lleva a cabo llenando primeramente las ranuras hasta la mitad, deejando enfriar el material durante una hora, para llenar completamente la ranura.

PRESERVANTES DE MADERA S.A.

El ASI es empleado en la protección de maderas elaboradas o en bruto, tales como postes, tejuelas, etc, protegiéndolas de la húmedad, putrefacción prematura y ataque.

EMPRESAS METAL MECANICAS QUE UTILIZAN ASI COMO PROTECTOR

Los siguientes clientes de PetroPerú utilizan el ASI como protector anticorrosivo de los diferentes elementos metálicos:

CEPPER	EMPRESA SIDERURGICA DEL PERU
INRES S.A.	P.M. S.A.
SIDERPERU	INDECO
IMEHERSA	(Industrias Metálicas HERMES S.A.)

Todas estas empresas se dedican a la fabricación de platinas especiales, tanques metálicos, estructuras metálicas, tuberías metálicas, etc.

También algunas de ellas se dedican a servicios de corte, dobléz, rolado, soldadura eléctrica, etc.

Las razones por que usan ASI son:

Es resistente a la abrasión, vibración, ambientes salinos, alcalinos o ácidos.

Tiene buena adherencia sobre láminas metálicas fosfatadas, imprimadas o pintadas.

Posee una alta resistividad eléctrica.

Posee un amplio rango de temperatura de trabajo.

Tiene baja absorción de agua y baja permeabilidad al vapor de agua.

CONSTRUCTORAS QUE COMPRAN ASFALTOS INDUSTRIALES A PETROPERU

Las que construyen viviendas

Graña y Montero
 Constructora Ramos
 Constructora Ramiro Ponce
 Construcciones Villasol
 Edificaciones y anexos
 W. Carty S.R.L (contratista general)
 Constructora 2 de Mayo

Estas empresas utilizan el ASI para recubrir impermeabilizar azoteas, techos, en zonas donde son intensos ya sea el calor o el frío, la lluvia y/o nieve y el viento.

Básicamente se utiliza esta técnica en la selva por la gran humedad ambiental, por el calor e intensas lluvias.

También utilizan el ASI en la sierra para impermeabilizar los techos debido al intenso frío y a las fuertes lluvias.

En general se utiliza el ASI para impermeabilizar techos si alguna persona lo requiere. También se puede emplear para impermeabilizar superficies horizontales bajo cubierta tales como baños, cocinas, etc.

Las razones por las que utilizan ASI son las siguientes:

Es un excelente aislante y cementante.
 Es resistente a la tracción y punzonamiento.
 Su permeabilidad es nula.
 Altamente resistente a la interperie.
 Amplio rango de temperatura útil.

Las que construyen lozas de concreto como pavimento

Graña y Montero	Gucsa S.A.
Ingenieros asociados S.R.L.	Constructora 2 de Mayo
W. Carty S.R.L.(Contratista General)	

Las losas de concreto utilizadas como pavimento cuentan con diversos tipos de juntas. A fin de evitar que por dichas juntas penetre agua requieren ser rellenadas con ASI.

Las razones porque utilizan ASI son las siguientes:

Es altamente resistente a los cambios climáticos, conservando sus cualidades de adherencia, flexibilidad y consistencia a altas y bajas temperaturas.

Es un adherente excelente en superficies de hormigón y asfalto.

No fluye desde la junta ni es arrancado por las ruedas de los vehículos.

USOS ALTERNATIVOS DE LOS ASFALTOS INDUSTRIALES

- 1.-Los asfaltos industriales pueden ser de gran uso en nuestra sierra peruana en los techos de las casas, pues es altamente impermeable y no se requerirá del uso de tejas, siendo al ahorro apreciable.
- 2.-Se pueden usar en el revestimiento de canales hidráulicos con la finalidad de evitar pérdidas de agua por filtración, disminuir la fricción hidráulica y reducir los costos de mantenimiento.
- 3.-Se puede usar recubrimiento asfáltico para azoteas y techos en las zonas donde hay lluvia y viento.
- 4.-Los asfaltos industriales pueden ser usados para revestir tuberías metálicas para evitar la corrosión, esto será muy útil cuando se implemente el gasoducto para transportar el gas de Camisea.

II. CONCEPTO DEL ASFALTO

Es un material aglomerante cuyo color varía de negro a pardo oscuro, de consistencia sólida, semisólida o líquida, cuyos constituyentes predominantes son los betunes que se dan en la naturaleza como tales o que se obtienen en la destilación del petróleo. El asfalto entra en proporciones variables en la constitución de la mayor parte de los crudos de petróleo.

DEFINICION DE LOS ASFALTOS DADA POR LA ASTM

"Asfaltos, materiales aglomerantes sólidos ó semisólidos cuyo color varía de negro a pardo oscuro y que se licúan gradualmente al calentarse, cuyo constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza en forma sólida ó semisólida ó se obtienen de la destilación del petróleo; ó combinaciones de éstos entre sí ó con el petróleo ó productos derivados de estas combinaciones". (ASTM- Standard D-8).

Betún.- Mezcla de hidrocarburos de origen natural ó pirogénico, ó de ambos tipos, frecuentemente acompañados de sus derivados no metálicos, que pueden ser gaseosos, líquidos sólidos o semisólidos, y que son completamente solubles en sulfuro de carbono.

Asfalto de petróleo.- Asfalto obtenido de la destilación del crudo de petróleo.

Asfalto natural (Nativo).- Asfalto que se da en la naturaleza y que se ha producido a partir del petróleo por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas. Los yacimientos más importantes de asfaltos nativos se encuentran en los lagos de Trinidad y Bermudez. El asfalto procedente de estos puntos se llama frecuentemente asfalto de lago.

Asfalto oxidado o soplado.- Asfalto a través de cuya masa, a elevada temperatura, se ha hecho pasar aire para darle las características necesarias para ciertos usos especiales,

como fabricación de materiales para techado, revestimiento de tuberías, inyección bajo pavimento de hormigón hidráulico, membranas envolventes y aplicaciones hidráulicas.

Asfalto sólido o duro.— Asfalto cuya penetración a temperatura ambiente es menor que 10.

Fluxante o aceite fluxante.— Fracción de petróleo relativamente poco volátil que puede emplearse para ablandar el asfalto hasta la consistencia deseada; frecuentemente se emplea como producto básico para la fabricación de materiales asfálticos para revestimiento de cubiertas.

Pintura asfáltica.— Producto asfáltico líquido que a veces contiene pequeñas cantidades de otros materiales como negro de humo, polvo de aluminio y pigmentos minerales.

Roca asfáltica.— Roca porosa como, por ejemplo arenisca ó caliza, que se ha impregnado con asfalto natural a lo largo de su vida geológica.

BASE ASFALTICA

a.- Definición

El material básico de los asfaltos lo constituye el "betún asfáltico".

El betún asfáltico es una mezcla de hidrocarburos de origen natural o pirogénico, o de ambos tipos, frecuentemente acompañados por sus derivados no metálicos que pueden gaseosos, líquidos, semisólidos o sólidos y que son completamente solubles en sulfuro de carbono.

b.- Factores que influyen en su calidad

Temperatura.

Gravedad API° del crudo.

Relación entre la cantidad de hidrocarburos saturados y no saturados.

Contenido de asfaltenos.

Contenido de resinas y constituyentes oleaginosos.

c.- Efectos en sus propiedades

Temperatura

Influye en las siguientes propiedades:

Penetración.- La penetración determina la dureza de un betún asfáltico, a mayor temperatura la penetración es mayor, es decir, el asfalto es menos duro. A menor temperatura penetración es menor lo que significa que el asfalto es más duro.

Viscosidad.- La finalidad del ensayo de viscosidad determinar el estado de fluidez de los asfaltos.

A mayor temperatura viscosidad menor temperatura mayor viscosidad.

Peso específico.— A mayor temperatura el peso específico es menor y a menor temperatura el peso específico es mayor.

Gravedad API° del crudo del cual proviene el asfalto

A menor gravedad API° se obtiene mayor cantidad cantidad de asfalto y de mejor calidad.

Contenido de asfaltenos

Los asfaltenos le comunican dureza al asfalto

Cantidad de hidrocarburos saturados y no saturados

Cuando menor es la relación entre hidrocarburos saturados y no saturados más duro es el asfalto.

Contenido de resinas

Las resinas le dan ductilidad al asfalto, es decir la propiedad de poder estirarse sin romperse, pero reducen la dureza.

2.1 NATURALEZA QUIMICA DEL ASFALTO

El asfalto es un sistema coloidal complejo de hidrocarburos en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la fase dispersa.

Químicamente los asfaltos son más complejos que otras fracciones de petróleo debido a su elevado peso molecular y porque ellos contienen un gran porcentaje de otros elementos además de carbono e hidrógeno. El gran número de isómeros de elevado peso molecular que se encuentran en el asfalto aumenta la dificultad para definir químicamente al asfalto.

Los elementos predominantes en el asfalto son el carbono y el hidrógeno (90%), existe azufre en cantidad variable, Nitrógeno desde indicios hasta 1.5%, a veces Oxígeno hasta 5% y menos de 1% de sales arrastradas del agua salada de los Pozos de Petróleo, estas sales contienen trazas de ciertos metales tales como el Vanadio y Níquel.

Según la cantidad de azufre, la relación entre las cantidades de hidrocarburos saturados y no saturados, y las circunstancias iniciales más o menos favorables a la autoxidación, varían las cualidades físicas de los asfaltos obtenidos desde el aceite mineral fluido hasta el asfalto duro.

Integran los asfaltos tres grupos de compuestos químicos:

ASFALTENOS: Constituyen del 5 al 20% de los asfaltos, de color variable (de marrón oscuro a blanco). Son h/c de moléculas de alto peso molecular (10^3 a 10^6) de carácter predominantemente aromático y su razón de C/H es aproximadamente 9.3 a 12.1.

Comunican dureza al asfalto. Los asfaltenos tienen mayor porcentaje de Oxígeno, Azufre y Nitrógeno. Los asfaltenos a pesar de su elevado índice de yodo, no son compuestos saturados, sino combinaciones policíclicas con enlace de oxígeno y azufre.

Los h/c asfálticos tienen de 12 a 14 anillos condensados con cadenas laterales alternadas, los átomos de azufre y oxígeno actúan como ligantes entre los grupos de anillos.

RESINAS Y CONSTITUYENTES OLEAGINOSOS: Estos compuestos le dan ductilidad al asfalto. Las resinas tienen peso molecular y relación atómica C/H menor que los asfaltenos; el alto contenido de aromáticos condensados en las fracciones resinosas es responsable de que tengan alta viscosidad a bajas temperaturas. Las resinas se recuperan como un sólido resinoso quebradizo de color marrón oscuro, el cual funde a una temperatura de 94 °C.

Los componentes oleaginosos tienen la apariencia de un aceite lubricante pesado, de color marrón oscuro o rojizo, la fracción aceite de los asfaltos y la mayoría de los aceites lubricantes contienen principalmente núcleos aromáticos nafténicos.

El Oxígeno, Azufre y Nitrógeno se encuentran en todos los asfaltos en cantidades mayores.

Materiales minerales: Le comunican resistencia y le dan un aspecto mate. La consistencia de los asfaltos varía desde el estado fluido hasta el sólido o quebradizo, pasando por el semisólido, dependiendo esta consistencia de las proporciones y de la naturaleza de los asfaltenos, las resinas y los constituyentes oleaginosos.

En total, cuando más pequeña es la cantidad de constituyentes oleaginosos, más duro es el asfalto.

2.2 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ASFALTICOS

El asfalto es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica de flexibilidad controlable. Es altamente resistente a la mayoría de ácidos, álcalis y sales.

Es una sustancia sólida o líquida a temperatura ambiente, puede licuarse fácilmente por acción del calor, acción de disolventes y/o emulsificación.

2.3 ENSAYOS SOBRE MATERIALES ASFALTICOS

El asfalto se presenta en una amplia variedad de tipos y grados normalizados. Se describirán los ensayos de laboratorio necesarios para determinar si los asfaltos cumplen con las especificaciones normalizadas para cada uso respectivo.

2.3.1 PENETRACION: Este ensayo determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones específicas de temperatura, carga y tiempo.

La penetración normal se determina a 25°C cuando la aguja esta con 100 gramos y la carga se aplica durante 5 segundos, su unidad es la décima de milímetro.

El instituto de asfalto ha adoptado 4 grados de betún asfáltico para pavimentación con penetraciones comprendidas dentro de los márgenes siguientes: 60-70, 85-100, 120-150, 200-300.

Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de penetración se describen en el ASTM D5.

2.3.2 VISCOSIDAD: La finalidad del ensayo de viscosidad determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas que se emplean durante su aplicación. La viscosidad o consistencia de un betún asfáltico se mide en el ensayo de viscosidad Saybolt Furol o en el ensayo de viscosidad cinemática. Los aparatos y procedimientos para realizar los ensayos se describen en los métodos ASTM E 102 ASTM D 445 respectivamente. La temperatura de referencia para los asfaltos sólidos industriales es de 135°C

2.3.3 PUNTO DE INFLAMACION: El punto de inflamación de un betún asfáltico indica la temperatura a la que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre; esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a la que el material ardería. Se mide por el ensayo en vaso abierto de Cleveland según condiciones normalizadas prescritas en el método ASTM D 92.

2.3.4. DUCTILIDAD: Es una característica de los betunes asfálticos, importantes en muchas aplicaciones, por lo cual se mide la distancia en centímetros, que un trozo de asfalto de dimensiones determinadas puede estirarse sin romperse. La longitud en (Cms) a la que el hilo del material se rompe define la ductilidad. Las condiciones normalizadas se determinan en los métodos AASHOT 51 y ASTM D113.

2.3.5 PESO ESPECIFICO: El peso específico de un material asfáltico se expresa como la relación entre el peso de un determinado volumen de material asfáltico a 25°C (77°F) y el peso de igual volumen de agua a la misma temperatura. Se determina normalmente por el método del picnómetro descrito en los métodos AASHOT43 y ASTM D70.

2.3.6 SOLUBILIDAD: Este ensayo determina el contenido de asfalto, la mayor de los asfaltos se disuelven en igual proporción de sulfuro de carbono y tetracloruro de carbono. Como el tetracloruro de carbono no es inflamable, es el disolvente preferido en la mayoría de los casos.

2.3.7 PUNTO DE REBLANDECIMIENTO O ABLANDAMIENTO: Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a temperaturas diferentes. El punto de reblandecimiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Se emplea para caracterizar los materiales asfálticos más duros de aplicaciones industriales. Indica la temperatura a la cual los asfaltos se hacen fluidos.

INDICE DE PENETRACION

Pfeiffer y Van Doormal inventaron un índice basado en el concepto de que la penetración de un asfalto a su punto de ablandamiento es aproximadamente 800. Su susceptibilidad a la penetración temperatura PTS, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Log}(800) - \text{Log}(\text{Penetración a } 25^{\circ}\text{C}).$$

$$\text{PTS} = \frac{100 \text{ g/5 seg}}{\text{Punto de ablandamiento } 1.8 \times ({}^{\circ}\text{C} - 25)}$$

El valor de PTS, se usa luego en la siguiente ecuación para obtener el índice penetración del asfalto (P.I).

$$\text{Índice de Penetración (P.I)} = \frac{30}{1+90 \text{ PTS}} - 10$$

El nomograma mostrado en la figura 2.1. ha sido realizado reemplazando valores del punto de penetración y ablandamiento en la fórmula dada. (Anexos página 84)

La mayoría de los asfaltos tienen un P.I. de -2 a +6, los asfaltos con P.I. más altos que estos valores tienen una baja temperatura de susceptibilidad. Un P.I. entre -2 y +2 generalmente es un asfalto "normal" usado para pavimentación y un asfalto con P.I mayor que +2 muestra considerable elasticidad y son frecuentemente referidos para los "asfaltos oxidados".

3. MANUFACTURA DEL ASFALTO

Un esquema general para la manufactura del asfalto se puede ver en la figura 3.1 (Anexos página 85).

Para la manufactura del asfalto es muy importante la clasificación del crudo para la determinación del mejor método para producirlo, a partir de un crudo dado, las tres posibles clasificaciones del crudo son:

- Crudo de base parafínica.
- Crudo de base intermedia.
- Crudo de base nafténica.

Mediante la destilación a presión atmosférica es separado en fracciones entre (250-275°C).

Si esta fracción tiene un API de 40 o más es llamado "Parafínico".

Si el API es 33 o menos es llamado "Nafténico".

Si el API esta entre 30-40 es llamado "Intermedio".

La destilación al vacío (a 40 mm de Hg) es empleada para obtener fracciones entre (275-300°C), en la destilación al vacío del crudo residual salen por la parte superior los aceites lubricantes y queda como residuo el asfalto. Ver figura 3.2 (Página 82).

Si el API es 30 o más es llamado "Parafínico".

Si el API es 20 o menos la fracción es llamada "Nafténica".

Si el API esta entre 20-30 la fracción es llamada "Intermedia".

Los crudos pueden ser una mezcla de estos tipos.

Cabe mencionar que los crudos de alto punto de ebullición son normalmente de base asfáltica o nafténica lo cual hace que se obtenga un alto rendimiento de asfalto.

La penetración del asfalto puede controlarse durante la destilación, los asfaltos más duros y de menor penetración se obtienen destilando hasta conseguir menor porcentaje de residuo.

4.0 ESTUDIO DE LOS ASFALTOS INDUSTRIALES

Uno de los principales procesos para obtener asfaltos industriales es el soplado con aire. Es el único proceso donde

se realizan reacciones químicas y generalmente no es usado para pavimentos. Este proceso es llamado algunas veces "Oxidación del asfalto" y al producto se le conoce como "Asfalto Oxidado", sin embargo, los términos "Soplado con Aire" y "Asfalto soplado con aire" son preferibles porque se ha demostrado que la deshidrogenación y polimerización están involucradas, pero el oxígeno no es adicionado al producto salvo en muy pequeñas cantidades.

Los asfaltos viscosos se hacen plásticos insuflándoles aire, esto hace que disminuya el contenido de agente resinoso de dispersión y aumenta el contenido de asfaltenos. Las micelas se atraen y forman una estructura suelta y a medida que disminuyen las resinas se forma un gel de mayor firmeza. Mediante el proceso de soplado con aire el asfalto se convierte en un producto con propiedades modificadas por contacto con aire en un rango de temperatura (205-260°C) y por un lapso de tiempo determinado a fin que se obtengan los resultados deseados.

4.1 OXIDACION DE LOS ASFALTOS

La oxidación de los asfaltos (residuos asfálticos) produce una estructura molecular que comunica al material plasticidad que son útiles cuando es indeseable el deslizamiento líquido. En cambio reduce la durabilidad en algunas condiciones y disminuye mucho la ductilidad. La oxidación es el principal método que se dispone para aumentar el índice de penetración, que equivale a reducir la tendencia a reblandecerse a altas temperaturas y hacerse quebradizo a temperaturas bajas. Cuanto más blando es el asfalto tanto más tiempo de oxidación o de soplado con aire se necesita para obtener una penetración dada y tanto más plástico es el asfalto oxidado. En la figura 4.1 (Anexos pag.88) se presenta el LOG de la penetración en función del punto reblandecimiento, se han trazado las curvas del índice de penetración constante empezando por un asfalto representado en el punto A, la sola destilación da la línea recta marcada RESIDUOS DE DESTILACION. Pero por oxidación aumenta el índice de penetración a medida que el asfalto se hace más duro. Si se empieza la oxidación en el punto B (que corresponde a un asfalto blando de penetración 200) se obtiene una curva que da

un índice de penetración mayor para una penetración dada. Empezando en el punto C (Penetración 100) se obtiene otra curva.

Se puede observar que la oxidación hace posible cubrir un intervalo considerable de plasticidad eligiendo el material adecuado para el soplado.

4.2 NATURALEZA QUIMICA DE LA OXIDACION DE LOS AFALTOS

Químicamente la oxidación del asfalto es probablemente un proceso de deshidrogenación, con formación de agua y aromáticos condensados de peso molecular aumentado. Es conocido que la oxidación del petróleo residual es una reacción exotérmica y que el agua y el dióxido de carbono son eliminados, la formación de agua indica que ha tenido lugar la deshidrogenación.

La presencia de monóxido y dióxido de carbono en los gases de salida muestran que se ha perdido carbón, sin embargo, se forma menor porcentaje de monóxido y dióxido de carbono que agua.

El aumento de la consistencia es una prueba de una posible condensación y polimerización.

También es conocido que los compuestos oxigenados de varios tipos son eliminados y que el nitrógeno y el oxígeno están presentes en los productos solamente en muy pequeñas cantidades.

Usando como medio de soplado aire u oxígeno la cantidad de oxígeno consumido es la misma.

Los hidrocarburos del tipo aceites lubricantes se convierten en sustancias resinosas de molécula más elevada y las resinas se transforman en asfaltenos.

Este último proceso es el que predomina de modo que con el tiempo disminuye el grado de dispersión por falta de resinas, que son los agentes dispersantes. Este resultado neto es el aumento de asfaltenos y la disminución de resinas con aumento en la atracción mutua de las micelas de asfaltenos y la formación de una estructura plástica. El grado en el cambio de dureza, punto de ablandamiento, peso específico, ductilidad, etc, del asfalto soplado con aire depende tanto del asfalto original como del proceso de oxidación al cual es sometido.

El soplado con aire puede ser realizado como una operación Batch (Intermitente) o como una operación continua. En la operación Batch el soplado puede ser llevado a cabo en un oxidador vertical u horizontal, pero la operación continua casi siempre se realiza en un oxidador vertical. También se recurre al uso de catalizadores y a la agitación mecánica con la finalidad de reducir el tiempo de soplado.

4.3 ASFALTOS LIQUIDOS

Material asfáltico cuya consistencia blanda o fluída hace que se salga del campo en el que normalmente se aplica el ensayo de penetración cuyo límite máximo es 300. Son asfaltos líquidos los siguientes productos:

A) Cutback.- Betún asfáltico que ha sido fluidizado mezclándolo con disolventes de petróleo, como por ejemplo, los asfaltos líquidos del tipo RC y MC. Al exponer estos productos a los agentes atmosféricos los disolventes se evaporan dejando solamente el betún asfáltico en condiciones de cumplir su cometido.

B) Asfalto de Curado Rápido(RC).- Es un asfalto líquido compuesto de betún asfáltico y un disolvente tipo nafta o gasolina muy volátil.

C) Asfalto de curado medio(MC).- Asfalto líquido compuesto de betún asfáltico y un disolvente tipo kerosene de volatilidad media.

D) Asfalto de curado lento(SC).- Asfalto líquido compuesto de betún asfáltico y aceites relativamente poco volátiles.

ASFALTOS DE PETROLEO

Asfalto obtenido de la destilación del crudo de petróleo, constituyen la mayor cantidad de asfalto empleado en la actualidad.

En la destilación al vacío y con corriente de vapor de petróleo asfáltico el petróleo crudo es rebajado en penetración, para procurarle cualidades diversas.

4.4 ASFALTOS PARA PAVIMENTOS

a) Cementos asfálticos

Son preparados especialmente para el uso en la construcción de pavimentos asfálticos. Aparte de sus propiedades aglomerantes e impermeabilizantes posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la mayoría de ácidos alcális y sales.

Se clasifican de acuerdo a su consistencia medida por el ensayo de penetración.

En el Perú la penetración de los cementos asfálticos utilizados oscila desde 40-50 en las zonas donde la temperatura promedio es mayor a 24°C hasta penetraciones de 120-150 donde la temperatura promedio es menor a 7°C.

b) Asfaltos cortados (Cutback)

c) Emulsiones asfálticas

Son dispersiones de cemento asfáltico en fase acuosa, con estabilidad variable. El tiempo de quiebre y la viscosidad de las emulsiones, dependen entre otros factores de la cantidad y calidad de los agentes emulsificantes.

Las emulsiones asfálticas se clasifican según el tipo de carga partícula y el tiempo de quiebre.

Según el tipo de carga partícula se clasifican:

Catiónicas y Aniónicas.

En cuanto al tiempo de quiebre se clasifican en:

Quiebre rápido, quiebre medio y quiebre lento.

5) TECNOLOGIA DEL PROCESO

a) **Operación Batch**

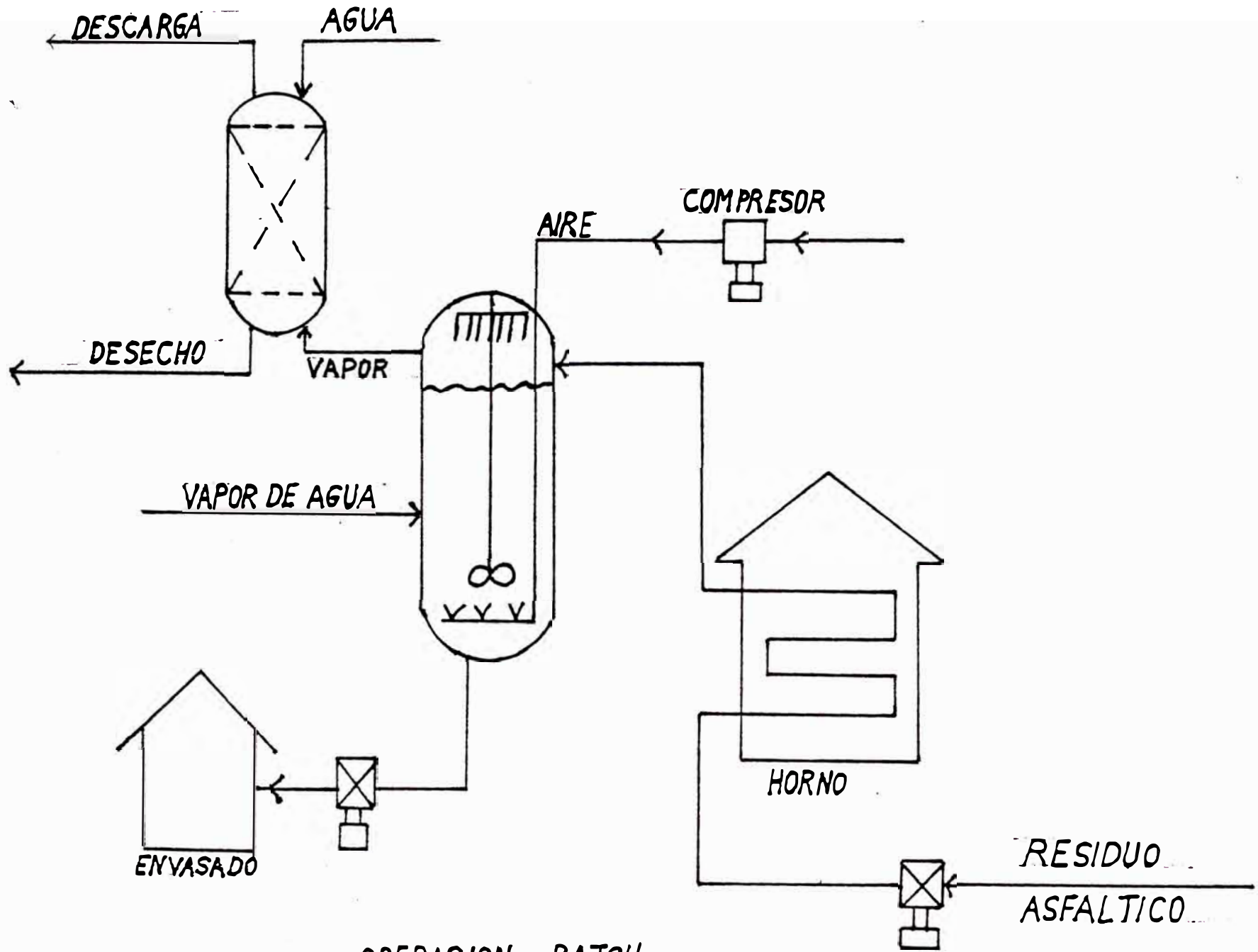
Este tipo de operación se usa cuando se desea obtener gran variedad de asfaltos oxidados. Hace posible el soplado de carga asfáltica de naturaleza diversa obteniéndose productos de especificaciones deseadas. En la industria son usados dos tipos de equipos de producción Batch:

HORIZONTAL.— Se usa cuando la presión de soplado es baja, puede ser calentado a fuego directo o conectado a un horno,

están sujetos a la producción de coke y a un sobrecalentamiento de los productos de fondo lo cual se debe evitar.

VERTICAL.— Al usar este tipo de equipo se requiere de un precalentamiento de la carga y un compresor para que la presión de soplado sea alta. En la industria se prefieren las torres verticales por sus más altas eficiencias, mayor tiempo de contacto con el aire y menos tiempo para que el flujo sea procesado hasta alcanzar el punto de ablandamiento deseado.

La operación Batch se muestra en la siguiente figura.
(Página 31).



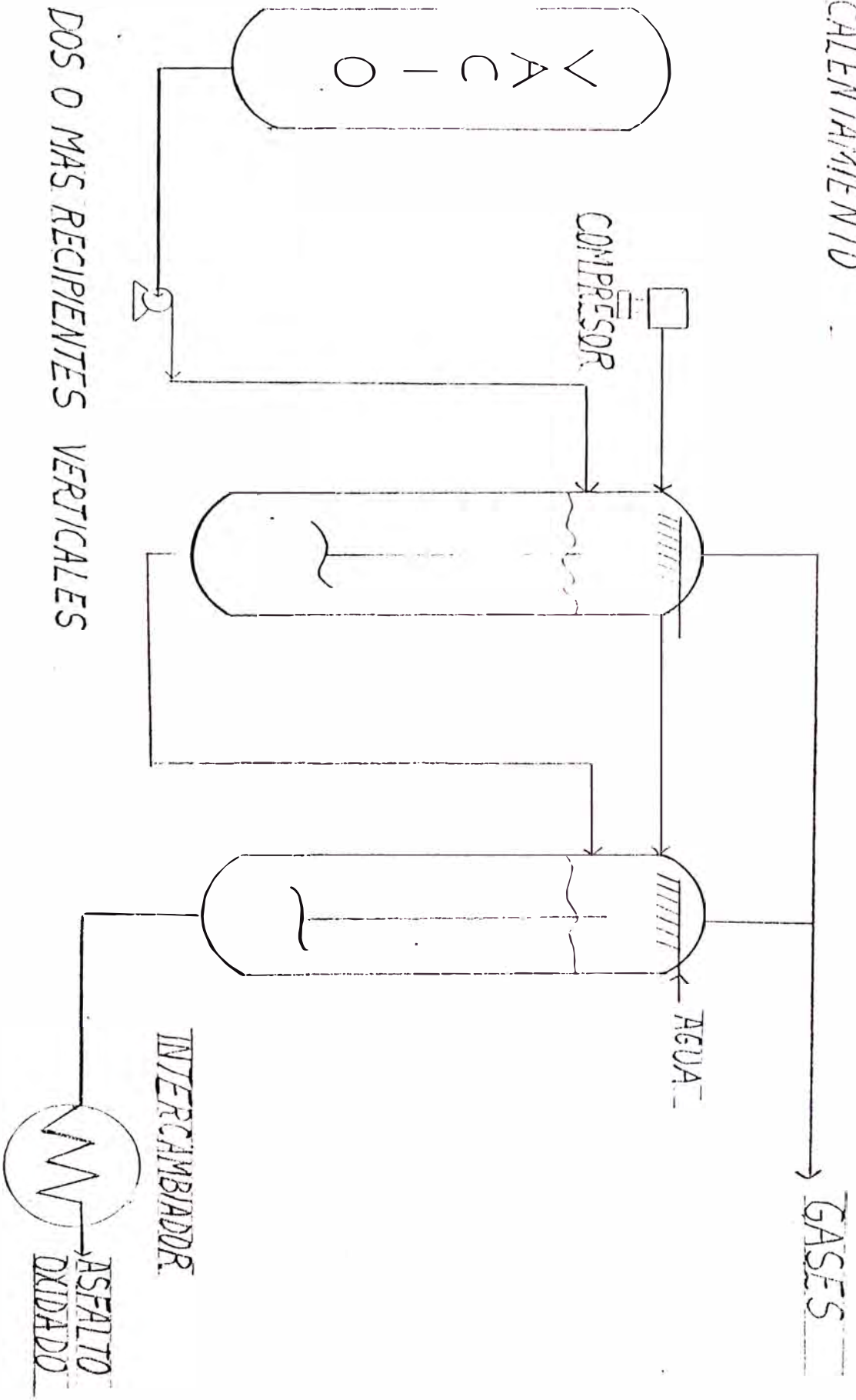
OPERACION BATCH

b) Operación Continua.— Los sistemas continuos son los más recomendables cuando se desea obtener un sólo tipo de producto. Debido a la mayor eficiencia el uso con aire se requiere un tiempo de soplado corto. La operación de soplado con aire puede ser unida directamente a la unidad de destilación al vacío, evitándose así el almacenamiento intermedio y el recalentamiento para ser bombeado al oxidador.

Las operaciones continuas están formadas por dos o más recipientes verticales como se puede apreciar en la figura (Página 33). Es ventajoso usar esta operación si se va a elaborar uno o dos productos y si la alimentación o el envasado del producto es continuo.

CON COLUMNA DE VACIO SE
EVITA EL ALMACENAMIENTO
Y EL RECALENTAMIENTO

OPERACION CONTINUA



DOS O MAS RECIPIENTES VERTICALES

5.1 DESCRIPCION DEL PROCESO

Los procesos de soplado con aire son básicamente dos:

Asfaltos soplados en forma convencional y soplado con catalizador. En operaciones comerciales se requiere más de 24 horas para oxidar un asfalto hasta obtener las especificaciones deseadas. La eficiencia del proceso estará en reducir el tiempo de soplado, para lo cual se recurre al uso de catalizadores y agitación mecánica.

5.1.1 ASFALTO SOPLADO EN FORMA CONVENCIONAL

La alimentación es bombeada desde el almacenamiento hasta el tope de la torre hasta alcanzar el nivel de soplado que es de dos tercios a tres cuartos de la altura del oxidador. Después que se ha cargado, la alimentación circula de la torre de soplado al horno para un precalentamiento. Para alcanzar la Temperatura deseada se requiere de aproximadamente dos horas de calentamiento (La T oscila entre 222°C y 244°C).

A 227°C se apaga el horno e ingresa al aire totalmente, continuando la circulación. El aire entra a una presión de 14 a 17 PSIA (1 Atmósfera), dependiendo de la altura del soplador vertical usado y de la cantidad d carga. El flujo de aire es

de 100 a 200 PIE³/MIN por cada tonelada de asfalto cargado.

Cuando se inicia el flujo de aire empieza la reacción de deshidrogenación, para formar agua seguida de condensación y polimerización de hidrocarburos. Como resultado del calor liberado por la reacción la Temperatura se elevará hasta el punto de soplado deseado.

El Batch es enfriado por una corriente de agua que cae sobre la superficie del asfalto a través de una tobera que esta fijada en el tope. El agua se transforma en vapor en el proceso sin formar parte del asfalto. El flujo de agua es separado antes que el Batch alcance la temperatura de 205°C porque el agua sería atrapada en el asfalto. Cuando se ha enfriado adecuadamente el Batch es bombeado desde el fondo para ser envasado.

El vapor de algunos hidrocarburos producidos durante el proceso así como el vapor de agua van a un depurador, que es un condensador que se encuentra al tope del soplador. La T de

soplado esta entre 205-260°C y el tiempo de soplado varía entre 3 y 24 horas. Las condiciones de operación dependen de las especificaciones deseadas en el producto final. Unas dos muestras se deben tomar para obtener el correcto punto de ablandamiento.

En la figura 5.3 se puede apreciar la variación del punto de ablandamiento y el tiempo de soplado para algunos asfaltos (Anexos página 88).

La preparación de asfaltos oxidados sin agitación es una operación que consume mucho tiempo y es deseable reducirlo, sin afectar la calidad del producto. Las temperaturas más adecuadas para obtener un asfalto óptimo están entre (257-260°C). La figura 5.4 muestra los puntos de penetración y ablandamiento para asfaltos oxidados con y sin agitación mecánica, se observa la disminución en el tiempo de soplado desde 18 a 2.3 horas. En ambos casos la T fué mantenida a 257°C. (Anexos 89).

La figura 5.5 muestra el diagrama de flujo para un tipo de soplado Batch. Este diagrama puede ser usado tanto para el soplado convencional como para el soplado catalítico (Pag.90)

5.1.2 ASFALTO SOPLADO CATALITICAMENTE

Como asfalto catalítico se acepto después de muchas discusiones, porque los agentes utilizados en el proceso no son recuperados como tales por lo que deberían llamarse **REACTANTES QUIMICOS** ; en general se dá este nombre sólo de manera descriptiva. Muchos componentes son conocidos como aceleradores de las reacciones de soplado, decreciendo el tiempo para alcanzar el punto de ablandamiento deseado. Algunos agentes catalíticos disminuyen el tiempo de soplado pero poco efecto tienen en el asfalto producido, otros parecen ser consumidos en la reacción impartiendo propiedades físicas a los asfaltos, la variación de estas propiedades también dependen de la cantidad de catalizador utilizado como se puede apreciar en la figura 5.6 (Pag.91).

Los catalizadores más utilizados son los compuestos estables del fósforo (P_4 , P_4O_3 , P_4S_6 , P_2S_5 , P_2O_5) y las sales metálicas de hierro ($FeCl_3$, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$). Los primeros son usados cuando se desea la modificación del producto, no

obstante las sales metálicas son usadas para acelerar la reacción, sin embargo, cambios en el tiempo de soplado son experimentados con el uso de compuestos de fósforo y modificaciones ligeras fueron experimentadas con el uso de sales metálicas. El H_3PO_4 puede ser utilizado pero su naturaleza corrosiva y su dificultad en el manipuleo con sólo 83% de solución incrementa su desventaja. El uso de pentóxido de fósforo como catalizador es el más adecuado porque ofrece estabilidad al calor y mayor durabilidad. Los asfaltos soplados con este catalizador proveen un amplio rango de Temperatura útil, una gran flexibilidad a baja Temperatura, una alta ductilidad y forma películas adhesivas más duras que las formadas con asfaltos de soplado no catalíticos. Siendo el efecto principal del P_2O_5 el de modificar los valores de la penetración.

5.1.3 SOPLADO DE AIRE CATALITICO CON P_2O_5

El pentóxido de fósforo (P_2O_5) se introduce como un polvo blanco, en cantidades variables desde 0.1% hasta 3% dependiendo de las características deseadas del producto. Su manipuleo no ofrece dificultades si se toman ciertas precauciones como usar guantes de jebe y protectores de cara. La carga es calentada de la misma manera como para la obtención de asfaltos soplados en forma convencional hasta la Temperatura que sea suficientemente fluida ($171-191^\circ C$) quedando así en condiciones de ser mezclada con el catalizador. Una porción es separada en un tambor de mezclado de catalizador provista de un agitador con paletas, cuando se alcanza las tres cuartas partes de su nivel se añade manualmente catalizador en la cantidad necesaria para llevar el porcentaje deseado a la carga entera.

La mezcla catalizador/asfalto es bombeada, continuando la recirculación y el aire entra lentamente combinándose con la carga que continua circulando hasta que alcance una T de ($232-238^\circ C$) rango que corresponde a la introducción de aire usual, continuando el soplado hasta alcanzar el ablandamiento deseado. Al final del soplado, el operador toma una muestra como en el soplado convencional para determinar en el laboratorio el punto de ablandamiento. En el producto de soplado desaparecen las partículas de P_2O_5 lo que hace suponer

que un compuesto intermedio se forma, este puede ser un éster, un producto adicional o quizás un complejo de agua resistente. Consecuentemente la recuperación del catalizador es imposible.

5.2 NORMAS DE CONTROL DE CALIDAD

5.2.1 MATERIAS PRIMAS

La materia prima básica para la producción de asfaltos sólidos industriales es el residuo de vacío (Base asfáltica 85/100). Las especificaciones que deben cumplir están en el cuadro que sigue.

ESPECIFICACIONES DE LOS ASFALTOS SOLIDOS (85/100)

ENSAYO	METODO ASTM No	ASFALTO SOLIDO PEN 85-100
Penetración (0.1mm 25°C-100g- 5 seg)	D5	85-100
Ductilidad cm a 25°C	D-113	100
Punto de Inflamación(°C)	D-92	232
Viscosidad SSF 135°C(275°F)	E-102	140/85
Viscosidad cinemá- tica (135 °C)	D-45	170
Solubilidad en CC14 %	D-4	99.5

Las normas adoptadas por PETROPERU, son las mismas de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

5.2.2 Las especificaciones de los productos terminados se dan en la siguiente tabla:

TABLA III

ASFALTOS INDUSTRIALES SOLIDOS Y LIQUIDOS

INSPECCIONES TIPICAS

E N S A Y O	METODO ASTM N°	G R A D O S				
		160/180 PA	180/200 PA	200/220 PA	ASF. PARA FILAS	ASI PEN 70/100
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°F)	D-36	160-180	180-200	200-220	210 - 230	120 - 130
DUCTIBILIDAD (Cm)	D-113	3 mfn.	3 min.	3 min.	3 min.	3 min.
PENETRACION (0.1 mm) 25°C-100gr. - 5 Seg. 37.8°C-50gr. - 5 Seg.	D-5	20-40	-	25 max.	16 - 20	70 - 100
	D-5	40-60	35-60	30-55	-	-
PUNTO DE INFLAMACION (°C)	D-92	260 min	260 min	260 min	260 min	260 min
Lbs./Gln.			8.382			

E N S A Y O	METODO ASTM N°	GRADOS LIQUIDOS		
		60	150	200
VISCOSIDAD FUROL. Seg. a 50 °C a 60 °C	D-88 D-88	50-70 -	140-160 -	150-250
CONTENIDO DE ASI 160/180 PA, en % Lbs./Gln.	D-402	40	60	75
			7.515	

TABLA IV

B R E A S

INSPECCIONES TIPICAS

E N S A Y O	METODO ASTM N°	G R A D O S	
		B.S. 160/810 PA	B.D. 240/280 PA
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°F)	D-36	160 - 180	240 - 280
DUCTILIDAD (Cm)	D-113	1 mfn.	-
PENETRACION (0.1 mm) 25°C - 100gr. - 5 Seg.	D-5	1 - 10	-
PUNTO DE INFLAMACION (°C)	D-92	260 mfn.	260 mfn.
Lbs./Gln.		8.472	9.339

DIVISION TECNICA
DPTO. DE VENTAS
AREA COMERCIAL

6) INGENIERIA GENERAL DEL PROCESO

Selección del proceso a usarse.— La oxidación se hará mediante un proceso intermitente y el oxidador será de tipo vertical, provistos de agitadores que aseguren la homogenización del producto.

Para mantener la T adecuada se hará uso de una lluvia de agua.

OPERACION INTERMITENTE

La operación intermitente presenta las siguientes ventajas:

- Se puede obtener diversidad de productos.
- De lote a lote se obtienen productos de excelentes cualidades diversas.

RECIPIENTES VERTICALES

- El incremento de la altura produce mayor velocidad de oxidación reduciendo el tiempo de soplado y aumentando el tiempo de contacto del asfalto con el aire.
- Por lo anterior es más eficiente que el oxidador horizontal.
- Utiliza con mayor eficiencia el aire.

AGITACION

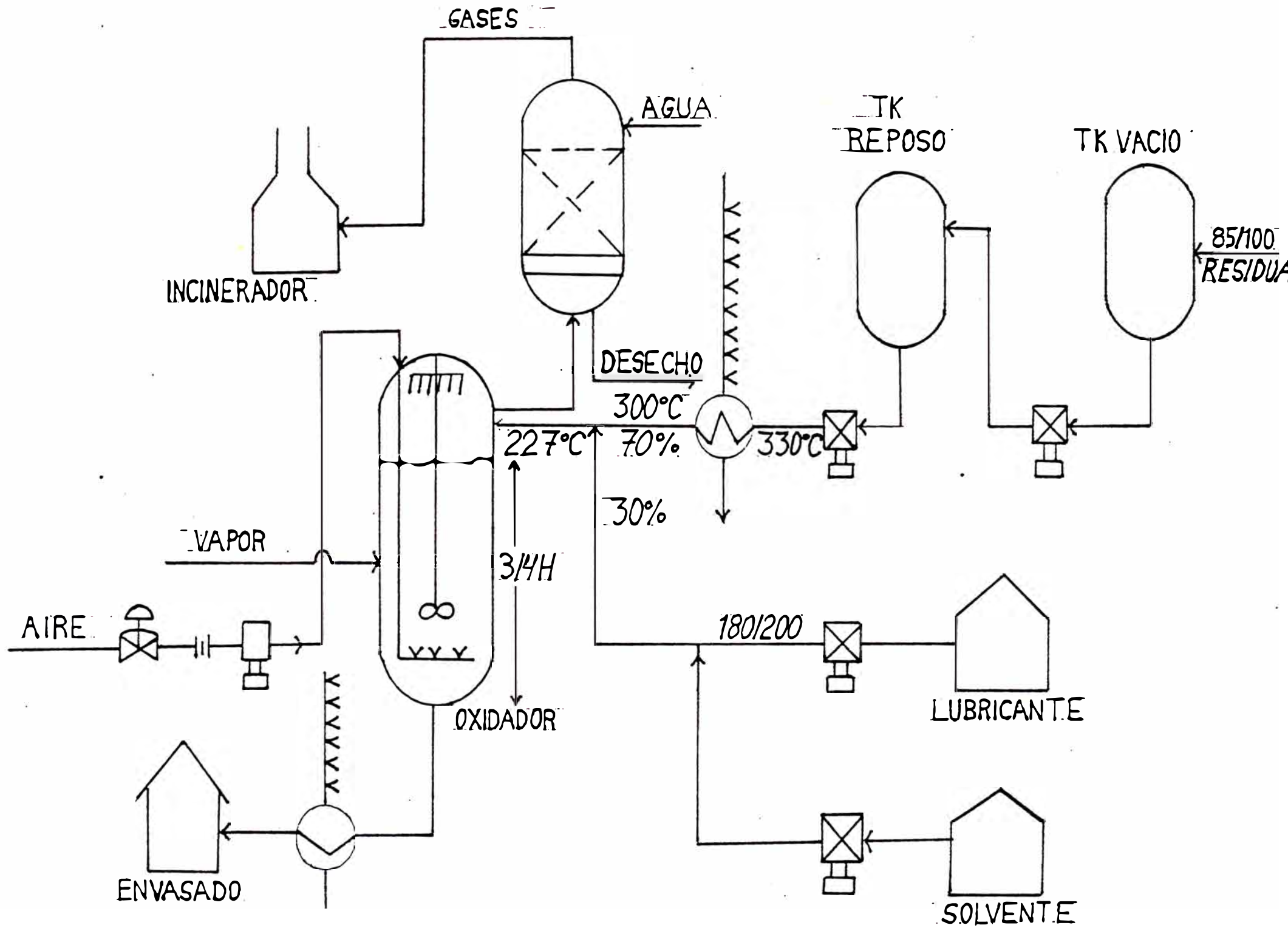
- Reduce el tiempo de soplado.
- Mejora el contacto entre el asfalto y el aire.

MEZCLA DE LA MATERIA PRIMA

El residuo asfáltico (85/100,60/70) viene de la unidad de vacío a 330°C, pasa por un intercambiador de calor para ser enfriado a 300°C.

Este residuo asfáltico va a ser mezclado con un destilado lubricante 180/200 en las proporciones de 70% y 30% respectivamente obteniéndose una T aproximada de 227°C.

El residuo asfáltico y el destilado lubricante se llenan hasta las tres cuartas partes del oxidador.



PROCESO DE OXIDACION.- La combinación de residuo asfáltico y destilado lubricante que se encuentra a 227°C es insuflado con aire a razón de 100 Pies³/Min por tonelada de carga a presión que varía de 1 atmósfera a 1.5 atmósferas y el tiempo de soplado de 1 a 5 horas según el tipo de asfalto deseado. Como se sabe la reacción es exotérmica y es deseable que no sobrepase los 260°C. Si aumenta la T se procederá a enfriar y esto se hará mediante un chorro de agua proveniente de una tobera la cual se encuentra al tope del oxidador.

Los gases provenientes del oxidador pasarán a un depurador de gases. Una vez obtenido el asfalto deseado se enfriará para luego ser envasado en cilindros.

6.2.- CALCULOS BASICOS

Como base de cálculo se tomará un promedio de las demandas entre los años 1994 y 2003. Siendo este promedio de 11160 barriles por año. Posteriormente de acuerdo a la demanda requerida se tendrá que reprogramar la producción.

La planta producirá 43 barriles por día, entendiéndose que durante el año se utilizan 264 días de labor, con un turno promedio de 10 horas diarias.

La reacción de oxidación es bastante complicada pero se sabe que el oxígeno del aire esta presente en el producto solamente en muy pequeñas cantidades, por lo que se considera que la relación CARGA/PRODUCTO es igual a 1.

El tiempo de soplado según la ecuación cinética varía de acuerdo al tipo de producto a obtenerse, de 1 hora 45 minutos a 5 horas.

PRODUCCION DE ASFALTOS INDUSTRIALES

En el recuadro siguiente se puede apreciar la cantidad de producción anual de asfaltos industriales en sus tres variedades.

Tabla 6.1

PRODUCTO	% PRODUCCION
ASFALTO SOLIDO	62
ASFALTO LIQUIDO	22
BREAS	16
TOTAL	100

PRODUCCION DE ASFALTOS INDUSTRIALES

a) Condiciones de operación

Temperatura: 260°C

Presión: 1 atmósfera

Flujo de aire: 100 pie³ /min por TM=2.832 m³ /min por TM

b) Carga

70% de residuo asfáltico 85/100: 13542 Kg

30% de destilado lubricante: 5818 Kg

Carga total: 19360 Kg

c) Tiempo de soplado y cantidad de aire

El tiempo de soplado se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{1}{K_o} \ln \frac{R}{R_o} \quad K_o = 0.121 \text{ (hr)}^{-1}$$

$$R_o = 80 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$R = 130 \text{ }^\circ\text{F}$$

θ = Tiempo de operación, horas

R = Punto de ablandamiento a un tiempo t, °F

R_o = Punto de ablandamiento inicial, °F

K_o = Constante de la velocidad de reacción.

Resulta:

θ = 4 horas = 240 minutos

Información detallada en anexos pag.96

REQUERIMIENTO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

a) En el oxidador:

Siendo la cantidad de aire consumido de 15696 Kg.

Para hacer un balance de energía tenemos las siguientes variables.

$Q_r = Q$ de reacción

$Q_v = Q$ de vapor de alimentación

$Q_{gt} = Q$ de gas de tope

$Q_{pr} =$ Pérdida por radiación

Balance de energía

$Q_r + Q_v - Q_{gt} - Q_{pr} = Q$ a eliminar

Se obtiene Q a eliminar = 1701372.45 Kcal/hr

Cantidad de agua a utilizar:

$M = 1281.91$ kg/hr

En cuatro horas: $M = 5127.64$ kgs de agua

Se usará agua desmineralizada proporcionada por la misma refinería de Conchán. Detalles en anexos páginas (93,94)

b) En el intercambiador:

$Q = 165420$ kcal/hr

Agua: 16576 kg/hr (Agua ablandada con 15 ppm de $CaCO_3$ de dureza).

Flujo: 16.54 m³ /hr = 72.83 GPM.

Detalles en anexos Pag.115

c) En el depurador: 4474 Kg/hr

Flujo de agua: 4.5 m³ /hr (Agua desmineralizada).

Detalles en anexos Pag.108

Requerimientos de Vapor de Agua

Se sabe que la cantidad de vapor saturado por tonelada de carga es de 80 Lb/hr.

Cantidad de vapor: 2810 Kg por lote.

Especificaciones de equipo y diseño

Reactor oxidador

a) Número de oxidadores: 1

b) Volumen = $V_{residual} + V_{lubricante}$

V carga = 19.36 m³

c) Diámetro del oxidador:

$$D = H \text{ carga}$$

$$D = 2.92 \text{ mts}$$

d) Volumen de diseño:

$$V_d = \frac{19.36}{0.75} (1.05) = 27.48 \text{ m}^3$$

Donde 0.05 es el factor de seguridad

e) Volumen del oxidador: 7260 galones

f) Densidad de la mezcla: Dens = 950 kg/m³

$$\text{Viscosidad} = 81 \text{ Cp} = 0.081 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{seg}}$$

g) Diseño mecánico del oxidador:

Anexos pag.100

Cálculo de la potencia del agitador

N = 100 RPM (1.67 RPS) (Se usará fórmulas y gráficos del libro de Treyball)

$$\text{Reynolds} = (\text{Dens})N(D^2)/\mu = 1.85(10)^2$$

$$\text{Factor de potencia} = N_p = 4$$

$$\text{Potencia hidráulica: } P = N_p(N^3)(\text{dens})(D^5)/(756c) = 20.98 \text{ Cv.}$$

$$\text{Potencia del motor} = P(1.1) + 0.5$$

$$P = 23.6 \text{ CV} = 17.67 \text{ Kw}$$

Detalles en anexos pag.102

Soplador

Se utilizará un soplador rotatorio.

Realizando los cálculos y considerando pérdidas se obtiene:

$$\text{Presión de salida} = 1.39 \text{ atmósferas}$$

$$\text{Potencia teórica} = 30.75 \text{ Kw}$$

$$\text{Potencia real} = 40.99 \text{ Kw}$$

Detalles en anexos pag.104

Depurador de Gases (Método recomendado en ALAN FOUST)..

Flujo de gases a la salida del oxidador..

Flujo de aire: 54.83 m³ /min

Flujo de gases: 6589 m³/hr (260°C, 1 Atm)

Condiciones de diseño:

Densidad del agua= 1000 kg/m³

Viscosidad del agua= 1 Cp

Relación = $\frac{\text{kg gas}}{\text{kg líquido}} = 1$

Velocidad del gas igual al 80% de velocidad de inundación.

Dimensionamiento:

$$\text{Densidad del gas} = \frac{PM}{RT} = 0.687 \text{ Kg/m}^3$$

Para determinar la velocidad de inundación se usará la siguiente ecuación:

$$\frac{Gy^2 Av Ux^2 \cdot 998}{P_x} = Gc e^3 P_x P_y$$

Con la ayuda del gráfico del libro de ALAN FOUST y utilizando anillos de Rasching de cerámica de una pulgada se obtiene:

$$Gy = 5949 \text{ Kg}/(\text{hr}\cdot\text{m}^2)$$

$$Gy = 0.8 (5949) = 4759.5 \text{ Kg}/(\text{hr}\cdot\text{m}^2)$$

$$Gx (\text{líquido}) = 4759.5 \text{ Kg}/(\text{hr}\cdot\text{m}^2)$$

Area de la sección transversal

$$S = \frac{\text{masa total del gas a la entrada}}{\text{Flux de gas}} = \frac{4472 \text{ Kg/hr}}{4759.5 \text{ Kg/hr}\cdot\text{m}^2}$$

$$S = 0.94 \text{ m}^2$$

$$D (\text{Diámetro de la torre}) = 1.1 \text{ metros}$$

Altura del terreno= 3.3 metros

Altura de la torre= 3.5 metros

Detalles en anexos en página 108

TRANSPORTADOR DE CILINDROS

N° necesario: 1

Dimensiones: Longitud: 3.04 mt. Ancho: 0.6 mts

Separación de pasos: 0.2 mts

Pendiente: 5°

N° de polines: 15

En la figura VII.1 se muestra el transportador de cilindros.

Detalles en anexos página 125

INTERCAMBIADOR DE CALOR

a) Determinación de la temperatura a la que debe enfriarse el residuo asfáltico.

$$T_1=? \quad T_2=? \quad T \text{ de mezcla} = 227^\circ\text{C}$$

De un balance térmico se obtiene:

$$Cp_1(T_1 - T_{ref}) + M_2Cp(T_2 - T_{ref}) = M_{mez}Cp(T_{mez} - T_{ref})$$

$$T_{ref} = 25^\circ\text{C} \quad T_2 = T_{ref}^\circ\text{C}$$

La ecuación anterior quedará:

$$Cp_1M_1(T_1 - T_{ref}) = M_{mez}Cp(T_{mez} - T_{ref})$$

Cp_1 = Capacidad calorífica del residuo asfáltico 85/100

$$Cp_1 = 0.545 \text{ Kcal}/(\text{Kg}^\circ\text{C})$$

M_1 = Masa del residuo asfáltico 85/100 = 13552 Kgs.

$$13552 \times (0.545)(T_1 - 25) = 19360 \times (0.5095)(227 - 25)$$

$$T_1 = 300^\circ\text{C}$$

Se enfriará el residuo asfáltico de 330°C a 300°C

b) Especificaciones del intercambiador de calor

Tipo: Doble tubo

Masa a enfriar = 13552 Kgs

Flujo másico = 8131.2 Kg/hr

Fluido caliente = Residuo asfáltico (Anulo)

Fluido frío (Agua) = Tubo interior

Se usará tubos IPS de cédula número 40

De diámetro exterior 3 pulgadas

De diámetro interno 2 pulgadas

Longitud del tubo 12 pies

Número de horquillas = 5

Detalles en anexos página 115

DISEÑO DE VALVULA

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 14.7 \text{ Psia}$$

$$P_1 = 29.4 \text{ Psia}$$

$$P_2 = 14.7 \text{ Psia}$$

$$G_{air} = 1$$

$$T = 520^\circ R$$

$$Q = 116160 \text{ SFCH}$$

Utilizando las fórmulas propuestas por "Fluids Control Institute" para gases:

$$C_v = \frac{Q}{963} \left(\frac{GTf}{(P_1 - P_2)(P_1 + P_2)} \right)^{1/2}$$

Se obtiene: $C_v = 108 / 0.8 = 135$

Utilizando las tablas recomendadas por el Instituto de Control de Fluidos.

El diámetro recomendado es de 4".

Detalles en anexos página 121

DISTRIBUCION DE LA PLANTA

La distribución de la planta se da en la figura 6 en Anexos
Página 126

MEDIDOR DE FLUJO DE LA ENTRADA DE AIREAl Compresor

El caudal debe ser:

$$Q = 19.36(100)(60) = 116160 \text{ pie}^3/\text{hr}$$

Para medir el flujo de aire se hará uso de una placa de orificio.

Se usará el método recomendado por:
"Natural Gasoline Supply Men's Association".

Se usará una tubería de $\phi=6$ SCH 40 y la siguiente fórmula:

$$Q = F_b \times F_{pb} \times F_{tb} \times F_g \times F_{tr} \left(h_w P f \right)^{1/2}$$

Se obtiene que el diámetro de la placa de orificio será de 3.875 ".

Información detallada en anexos Página 123

7.- ESTUDIO DE MERCADO.

Consideremos que la Planta de Asfaltos Industriales a instalarse en Refinería Conchán producirá los mismos tipos de asfaltos producidos actualmente por la Refinería Talara, sobre esta base se estudiará la tendencia histórica del consumo y las proyecciones de la demanda.

ASFALTOS SOLIDOS INDUSTRIALES (A.S.I)

A.S.I	160 / 180	P.A
A.S.I.	180 / 200	P.A
A.S.I.	200 / 200	P.A
RAYOVAC	16 / 20	PEN
PISOPAK	70 / 100	PEN

ASFALTOS LIQUIDOS INDUSTRIALES (A.L.I)

A.L.I.	60
A.L.I.	150
A.L.I.	200

BREAS

BREA SOLIDA	160 - 180 P.A.
BREA DURA	240 - 280 P.A.

7.1.- OBTENCION Y DISPONIBILIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS.

a) Para asfaltos Sólidos Industriales (A.S.I.).

Los asfaltos sólidos requieren una base asfáltica con una penetración entre 85 - 100 y destilado lubricante 180 /200.

También se dispondrá del residuo de destilación de la Planta Conchán. El destilado lubricante 180 / 200 lo proporcionará la Refinería Talara.

b) Para Asfaltos Líquidos Industriales (A.L.I.).

Los Asfaltos Líquidos Industriales y solventes Petroperú N°3, éste último será suministrado por la Refinería Conchan.

OBTENCION Y DISPONIBILIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS

ASFALTOS SOLIDOS INDUSTRIALES

MATERIA PRIMA	BASE ASFALTICA PEN 85/100	DESTILADO LUBRICANTE 180/200
DISPONIBILIDAD	PLANTA CONCHAN	REFINERIA TALARA

ASFALTOS LIQUIDOS INDUSTRIALES

MATERIA PRIMA	ASFALTO BLANDO	SOLVENTE N°3
DISPONIBILIDAD	PLANTA CONCHAN	PLANTA CONCHAN

BREAS

MATERIA PRIMA	RESIDUO VACIO PEN 60-70
DISPONIBILIDAD	PLANTA CONCHAN

Procedencia del crudo

El crudo llega por barco desde el norte, el cual puesto en la refinería Conchán tiene un costo de US\$ 13.5. Este crudo es una mezcla de crudo Loreto (en una proporción que oscila entre 70-75%) y crudo Ecuador llamado también oriente (en una proporción de 25-30%)

Características del crudo

API (15.5°C)	23
Viscosidad Cinemática a 37.8°C	79.05
Presión de vapor Reid	1.8 psia
Punto de escurrimiento	-19°C
Agua y sedimen- tos (%Vol)	0.32
Sales como NaCl, Lb/Mb	15.8
Azufre total % masa	1.01
Vanadio (PPM)	136
Fe (PPM)	3
Ni (PPM)	10
Cu (PPM)	45

c) Para Breas.

La materia prima para producir las breas es el residuo de vacío con una penetración entre 60 - 70; para lo cual se hará los ajustes en las condiciones de operación en el procesamiento del crudo, esto será en Planta Conchán.

7.2.- TENDENCIA DE LA DEMANDA Y PROYECCION.

Los datos de la Tabla 7.2 se graficarán para poder visualizar el tipo de demanda histórica que se tiene. (Gráfico I).

La demanda de asfalto sólido industrial a nivel nacional obtenida del reporte de ventas de PETROPERU del año 1993 fué de 7987 barriles.

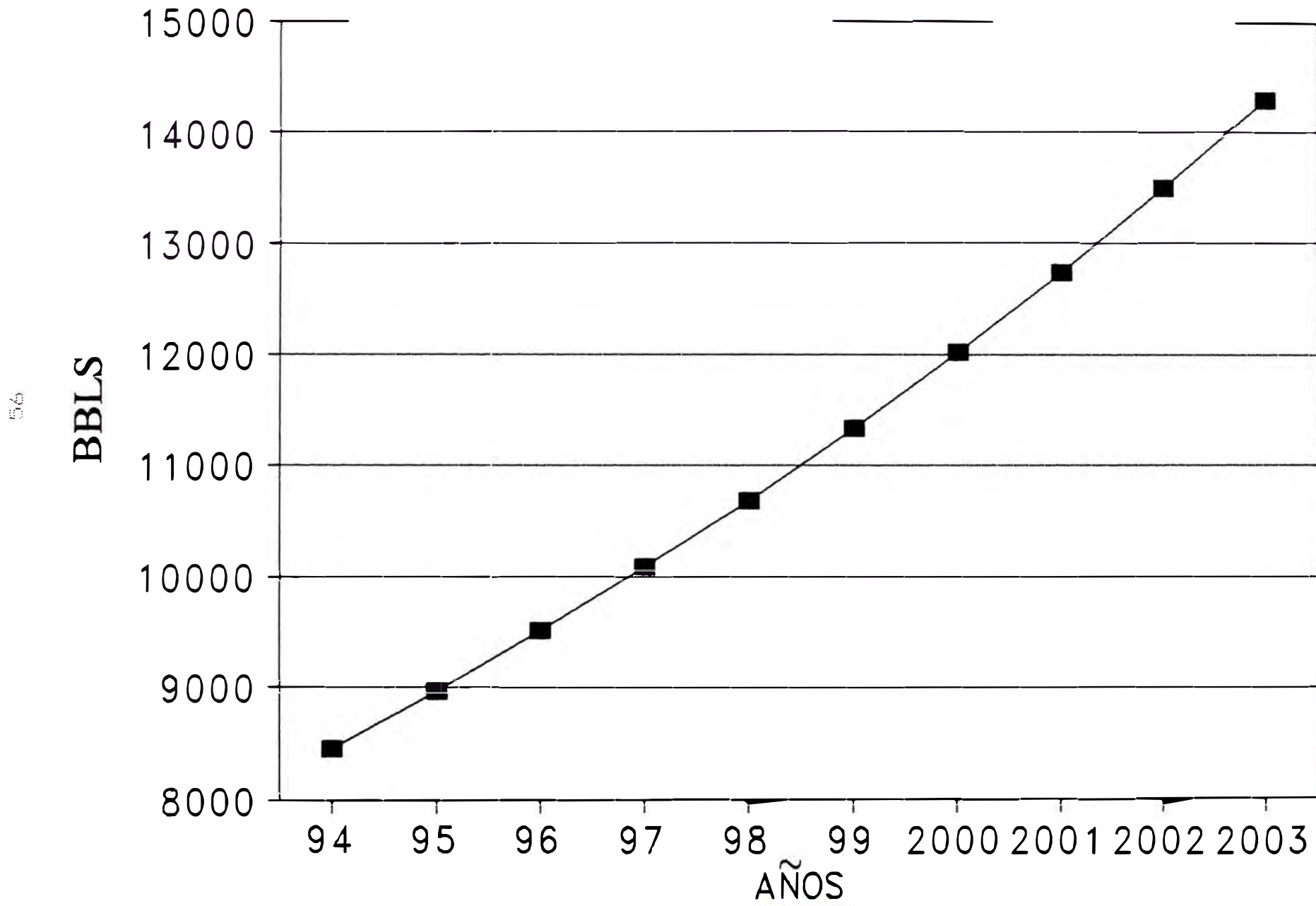
A partir de ese año se considerará un crecimiento anual de 6% obteniendose los siguientes resultados.

TABLA 7.2
PROYECCION DE LA DEMANDA.

AÑO	ASFALTO SOLIDO BBLs
1990	6220
1991	6309
1992	6256
1993	7987
1994	8467
1995	8975
1996	9513
1997	10084
1998	10689
1999	11330
2000	12010
2001	12731
2002	13494
2003	14303

GRAFICO I

PROYECCION DE LA DEMANDA DE ASI



EXPLICACION DE LOS CRITERIOS UTILIZADOS EN LA PROYECCION DE LA DEMANDA

La tabla de consumo a nivel nacional es real desde el año 1964 hasta el año 1982 inclusive. Siendo también real la demanda desde 1990 hasta 1993.

Se esta iniciando la reactivación económica del país, habiendo proyectado el gobierno un crecimiento en el FBI de 5% para 1994. Por esta razón se considera que a partir de 1994 la demanda de Asfalto sólido industrial se va ir incrementando 6% cada año, siendo esta proyección moderada ya que con esta tasa de crecimiento recién en el año 2005 se habrá alcanzado el consumo real de 1982.

7.3.- Se esta presentando la demanda real de consumo a nivel nacional de asfaltos industriales y breas hasta 1982.

AÑO	ASFALTO LIQUIDO (Bbls)	ASFALTO SOLIDO (Bbls)	BREAS (Bbls)	TOTAL OXIDADOS (Bbls)
1964	1813.4	10712.7	4742.6	17268.8
1965	1965.5	10183.1	4507.4	16656.6
1966	2006.4	12466.2	6121.2	20593.8
1967	1793.0	14637.8	5467.6	21898.4
1968	2013.3	12098.1	5173.8	19285.1
1969	2452.5	9486.4	5521.2	17460.1
1970	4947.2	10378.5	5137.4	20491.1
1971	3845.1	14582.7	5114.0	23941.8
1972	5574.0	15059.1	5635.2	26268.2
1973	5731.5	17625.7	6243.8	29601.0
1974	4268.6	15857.8	5030.9	25157.3
1975	4900.0	18844.0	5407.0	29151.0
1976	3881.0	13720.0	3937.0	21698.0
1977	4747.6	15504.2	5238.4	25580.0
1978	3869.0	13275.5	4714.7	21859.2
1979	4193.0	14747.7	4398.6	23339.3
1980	6208.1	16024.6	4841.7	27074.4
1981	5425.6	15603.6	4581.6	25610.8
1982	3197.8	16174.7	3387.6	22760.0

FUENTE B3

INSTALACIONES DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION



7.4.- DISTRIBUCION DE VENTAS DE ASFALTOS INDUSTRIALES.

Se ha considerado:

- a) Región Norte: Piura Trujillo
- b) Región Sur: Arequipa, Cuzco.
- c) Región 8: Ica, Huancayo, Selva,
- d) Región Metropolitana: Lima, Callao.

TABLA 7.3
DISTRIBUCION DE LAS VENTAS.

	A.L.I	A.S.I	BREAS	TOTAL
REGION NORTE	35	6.44	5.67	10.75
REGION SUR	4.5	9.43	1.9	7.03
REGION METROPOLITANA	60.4	78.34	79.06	75.67
REGION 9	0.1	5.79	13.37	6.55

8.- EVALUACION ECONOMICA

8.1.- INVERSION

Se establece los requerimientos monetarios para la implantación del proyecto. Los estimados de las inversiones se han aproximado en lo posible a la realidad.

8.1.1.- INVERSION DE CAPITAL FIJO.

La inversión de capital fijo requerida para poner en marcha

el proyecto es de US \$ 1'332644 de los cuales corresponden a costos directos US \$ 747227 y a costos indirectos US \$ 237,771 además de consideran un 5% y 10% para dichos montos para honorarios de contratista y eventuales respectivamente.

Los cálculos que corresponde al rubro de costo de maquinaria se basan en referencia utilizándose los costos de índice Marshall y Stevens (M&S) e índices de costos de plantas de ingeniería química (CE Plant Cost Index) para actualizar dichos costos.

**Datos respecto al transporte de
asfalto
sólido otorgados por el
departamento de operaciones de
PETROPERU**

Para traer asfalto sólido industrial desde Talara los costos son los siguientes:

En enero de 1994 el costo fué S/. 100.86 por tonelada.

En febrero de 1994 el costo fué S/. 102.70 por tonelada.

En marzo de 1994 el costo fué S./ 103.50 por tonelada.

Se determinará el costo de transportar un barril de asfalto sólido industrial de la siguiente manera:

$$1 \text{ barril} = 0.159 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad del asfalto} = 1020 \text{ Kg/m}^3$$

$$M = (1020 \text{ Kg/m}^3)(0.159) = 162.2 \text{ Kg.}$$

El costo por barril será:

$$162.2(103.5)/1000 = \text{S/. } 16.80$$

Siendo el valor de un dólar S/.2.17 el costo por transporte por cada barril será US\$ 7.75

Nota: Hay que tener en cuenta que los asfaltos sólidos deben ser traídos por vía terrestre.

8.1.2.- CAPITAL DE TRABAJO.

Lo constituye el mínimo requerido en materias primas y materiales, mano de obra y gastos necesarios para el arranque y puesta en marcha de la planta hasta su operación comercial. Este rubro corresponde al 15% de la inversión total de capital.

8.2.- FINANCIAMIENTO.

Considerando la estructura de las inversiones que se requiere para ejecutar el proyecto se prefiere el financiamiento externo por lo que se recurrirá a los organismos internacionales.

8.2.1.- FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Se ha considerado como fuente de financiamiento a entidades crediticias y a organismos internacionales de Desarrollo como el Banco Mundial.

El financiamiento de éste Banco otorga préstamos con un período de gracia de 1 a 3 años; los préstamos pueden ser en moneda nacional o extranjera.

Para el caso de moneda extranjera tiene un interés de 9% anual.

De acuerdo a las exigencias del Banco, el préstamo deberá aportar como mínimo un 20% de la inversión total.

Las condiciones y características del préstamo otorgado por el Banco Mundial son las siguientes:

MONTO US \$ 1'332644

Plazo de Amortización	7 años
Período de Gracia	3 años
Plazo mínimo	10 años
Interés	9% anual.

8.2.2.- COBERTURA DE INVERSION.

La inversión total del proyecto a realizarse es de US \$ 1'332644 los cuales serán cubiertos por el crédito de Banco Mundial hasta un monto de US \$ (1'066115) (80%) y con el aporte de los fondos de Petróleos del Perú S.A. siendo este monto de US \$266529 (20%)

8.2.3.- SERVICIO DE LA DEUDA. (gastos de financiamiento)

FUENTE DE FINANCIAMIENTO

ORGANISMO	BANCO MUNDIAL
MONTO	US \$ 1332644
AFORTE PROPIO(20%)	US \$ 266529
PLAZO DE AMORTIZACION	7 AÑOS
PERIODO DE GRACIA	3 AÑOS
PLAZO MINIMO	10 AÑOS
INTERES	9% ANUAL

Comprende la amortización del principal, realizado en 7 años en cuotas mensuales más el interés al monto adecuado.

Dichos montos están en la Tabla 8.4.

8.3.- GASTOS DE PROYECTO.

El proyecto contará con ingresos provenientes de las ventas.

Como precio de venta se considerará el precio promedio actual de US \$ 1.9 el galón, 2.85 S/. galón a S/. 1.50 el dólar) en enero de 1993.

La producción es de 11160 barriles (468720 galones)

INGRESO = Capacidad de producción x precio.

INGRESO = 468720 galones x US \$ 1.90

INGRESO = US \$ 890568

8.3.1.- EGRESOS.

Lo constituyen los costos fijos y los costos variables.

En la tabla 8.1 se muestra el costo de las materias primas

TABLA 8.1

DESCRIPCION	CONSUMO ANUAL	COSTO UTILITARIO US \$ GAL	COST ANUAL US \$
RESIDUO ASFALTICO	209400	0.60	125630
DESTILADO LUBRICANTE	104700	0.93	97371
RESIDUO 60/70 ASFALTICO	41880	0.60	25128
SOLVENTE	38224	1.05	40135
			\$ 290447

NOTA: Los costos de la materia prima incluyen flete.

TABLA 8.2

ESTIMACION DEL COSTO DE INVERSION DE CAPITAL

I.	INVERSION DE CAPITAL FIJO	US \$	
A.	<u>COSTO DIRECTO</u>		
	Costo de maquinaria		
	1. Oxidador	31244	
	2. Soplador Rotatorio	65045	
	3. Intercambiador	4671	
	4. Tanque lubricante TK-1	20215	
	5. Tanque solvente N°3 TK-2	13967	
	6. Tanque de reposo TK-R	9557	
	7. Bomba B-1	5294	
	8. Bomba B-2	6353	
	9. Bomba B-3	4462	
	10. Bomba B-4	3812	
	11. Depurador de gases	23139	
	12. Transportador	<u>184</u>	
	Total de equipo Adquirido	360260	
	Instalación de equipos	140501	
	Cañería y tuberías (Instaladas)	111681	
	Instalaciones eléctricas	36026	
	Mejoras de terreno y obras civiles		36909
	Instalación de servicios	198143	
	Instrumentos y controles	<u>36026</u>	
	Total de costo directo		747227
B.	<u>COSTO INDIRECTO</u>		
	Ingeniería y supervisión	115283	
	Gastos de construcción	<u>122488</u>	
	Total de costo indirecto	237771	
	Honorarios de contratista 5% (A+B)	49250	
	Imprevistos ó eventuales 10% (A+B)	98500	
	Total de inversión de Capital Fijo	1132748	
II.	CAPITAL DE TRABAJO	199897	
	INVERSION TOTAL DE CAPITAL	1'332644	

TABLA 8.3

ESTRUCTURA DEL COSTO DE PRODUCCION ANUAL (US \$)

	COSTO FIJO	COSTO VARIABLE
MATERIA PRIMA		290447
MANO DE OBRA DIRECTA		7790
SUPERVISION DE OPERACION	1171	
ELECTRICIDAD		390
VAPOR		573
AGUA		284
MATENIMIENTO Y REPARACION	2522	
DEPRECIACION DE EDIFICIO	832	
DEPRECIACION DE MAQUINARIA (10 AÑOS)	46581	
IMPUESTOS Y SEGUROS (1 % de la inversión fija total)	4658	
GASTOS GENERALES DE PLANTA	5751	
GASTOS DE ADMINIS- TRATIVOS	1725	
GASTOS VENTA	17500	
GASTOS FINANCIEROS	42000	
TOTAL COSTO FIJO	122742	
TOTAL COSTO VA- RIABLE		299484

COSTO TOTAL DE PRODUCCION - Costo fijo + Costo variable

US \$ 422226

TABLA 8.4

AMORTIZACION DEL CREDITO

AÑO	MONTO	AMORTIZACION	INTERES	PAGO ANUAL
1	1332644		119938	119938
2	1332644		119938	119938
3	1332644		119938	119938
4	1332644	190378	119938	310316
5	1142226	190378	102804	293182
6	951888	190378	85670	276048
7	761510	190378	68536	258914
8	571132	190378	51402	241780
9	380754	190378	34268	224646
10	190378	190378	17134	207512

LISTA DE PRECIOS DE VENTAS ASFALTOS INDUSTRIALES OTORGADA POR

EL DEPARTAMENTO DE VENTAS DE PETROPERU

Tipo de cambio

Fecha: Enero de 1993

US \$= S/. 1.50

Asfalto líquido industrial

Punto de ablandamiento: 60-150-220

Cilindro: S/. 2.34 por galón + 18%= S/. 2.76

Cilindro de 54 galones: S/. 3.31 por galón + 18%= S/.

3.91

Asfalto sólido industrial

Penetración 70-100, 160-190, 200-220

Cilindro de 190 kilos: S/. 0.74 por kilo +18%= 0.88

Breas

Punto de ablandamiento: 160-220

Cliente: S/. 0.45 por kilo +18%= S/.0.53

Brea dura: Cilindro 190 kilos: S/. 0.67 +18%= S/.0.80

Determinación del precio por galón de asfalto sólido industrial

Densidad del asfalto= 1020 Kg/m³

Un kilogramo ocupa 0.98 litros. Teniendo en cuenta que un galón equivale a 3.78 litros se tiene 0.25 galones. El precio por kilo es S/. 0.74 y tipo de cambio S/. 1.50 se obtiene que el precio por galón es US\$ 1.90.

8.4.- PUNTO DE EQUILIBRIO

Se calcula el punto de equilibrio para determinar en que nivel de producción los ingresos igualan a los egresos, es decir, a que nivel no se producen ganancias ni pérdidas.

I_v = Ingresos por ventas = US \$ 890568

C_v = Costos variables = US \$ 299484

C_f = Costos fijos = US \$ 122742

$$P_e = \frac{C_f}{1 - \frac{C_v}{I_v}} = \frac{122742}{1 - \frac{299484}{890568}} = \text{US } \$ 184922$$

P_e = US \$ 184922

P_e = 184922 / 1.9 \$ por galón = 97328 galones

8.5 RENTABILIDAD

Utilidad bruta = Ingreso - Costo

Utilidad Neta (UN) = UB - Impuesto

Impuesto 30% UB

Ingreso US \$ 890568

Costo US \$ 422226

UB US \$ 468342

Imp. US \$ 140503

UN US \$ 327840

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Utilidad Neta}}{\text{Inversión Total}} \times 100$$

$$\text{Rentabilidad} = \frac{327840(100)}{1565800} = 21 \%$$

Análisis Económico

La tasa interna de retorno resulta: $i=0.18$

La i es mayor que la tasa activa (9%), lo que resulta correcto.

Hallando el VAN a diferentes tasas resulta:

VAN al 6% = US\$ 764837

VAN al 9% = US\$ 467035

VAN al 15% = US\$ -132569

Análisis de sensibilidad del proyecto

Sensibilidad a los ingresos

<u>INGRESOS</u>	<u>TIR(%)</u>	<u>VAN(9%)</u>
+10%	25	745836
+5%	21	584921
0%	18	467035
-5%	14	361842
-10%	10	28410
-15%	6	-81950

Sensibilidad a los egresos

<u>EGRESOS</u>	<u>TIR(%)</u>	<u>VAN(9%)</u>
+15%	7%	-98700
+10%	11%	83619
+5%	15%	268719
0%	18%	467035
-5%	21%	565274
-10%	25%	696583

SENSIBILIDAD

estudio de la sensibilidad ha sido realizado tomando la evaluación económica a nivel empresa.

Sensibilidad de los ingresos

El proyecto puede soportar una disminución en sus ingresos de hasta -11% manteniendo un VAN (al 9%) por encima de cero, tal como se puede apreciar en el gráfico.

La variación de los ingresos origina una alta sensibilidad, sólo un incremento de +5% en los ingresos da como consecuencia un aumento de 26% en el VAN (al 9%).

Sensibilidad de los egresos

Con incrementos en los egresos del orden de 12.4% el VAN (al 9%) logra mantenerse aún por encima de cero, haciendo justificable el proyecto.

Una disminución de los egresos en 5% origina que el VAN (al 9%) aumente en 22%.

GRAFICO II

SENSIBILIDAD DE LOS INGRESOS

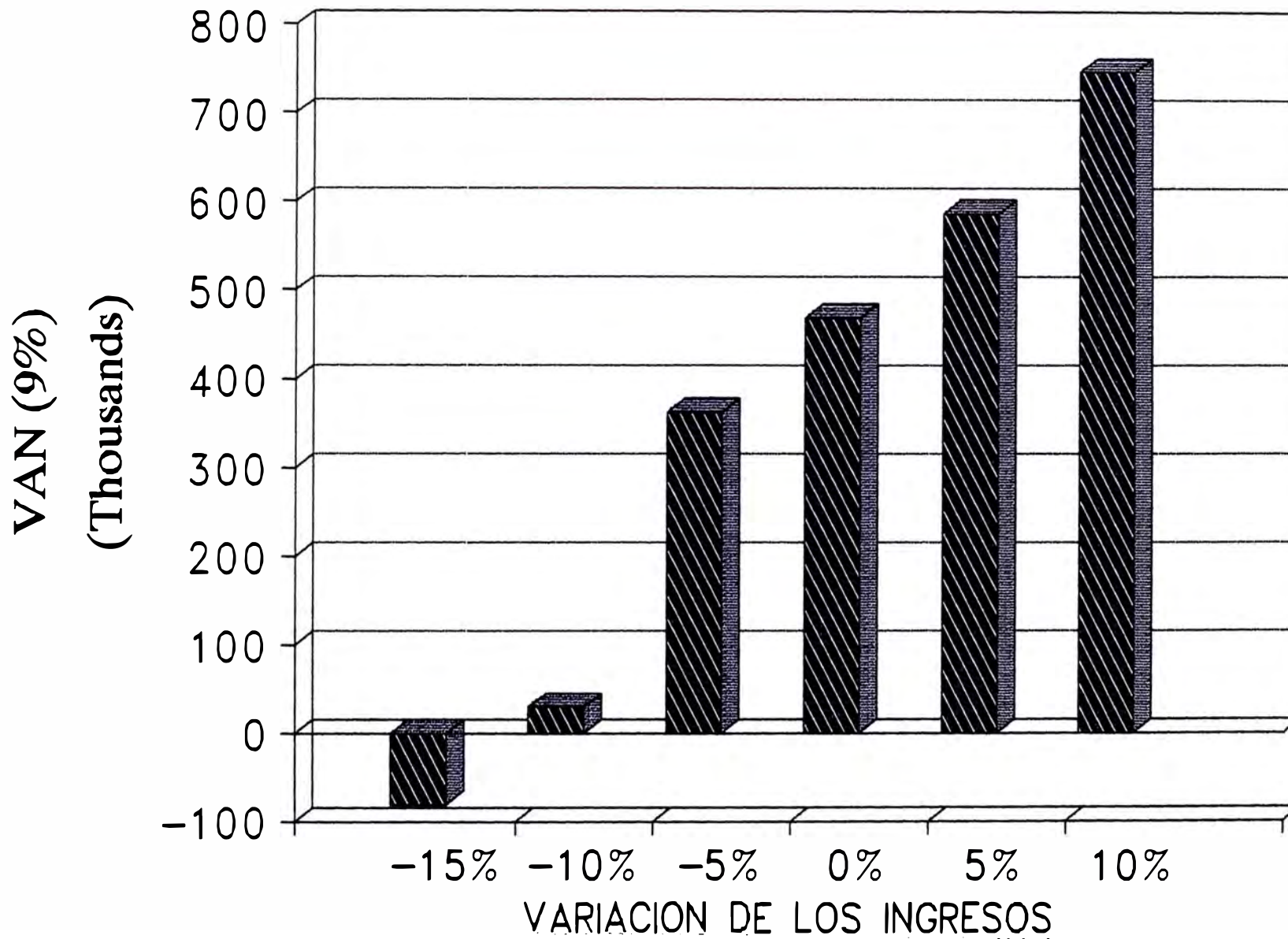


GRAFICO II A

SENSIBILIDAD DE LOS INGRESOS

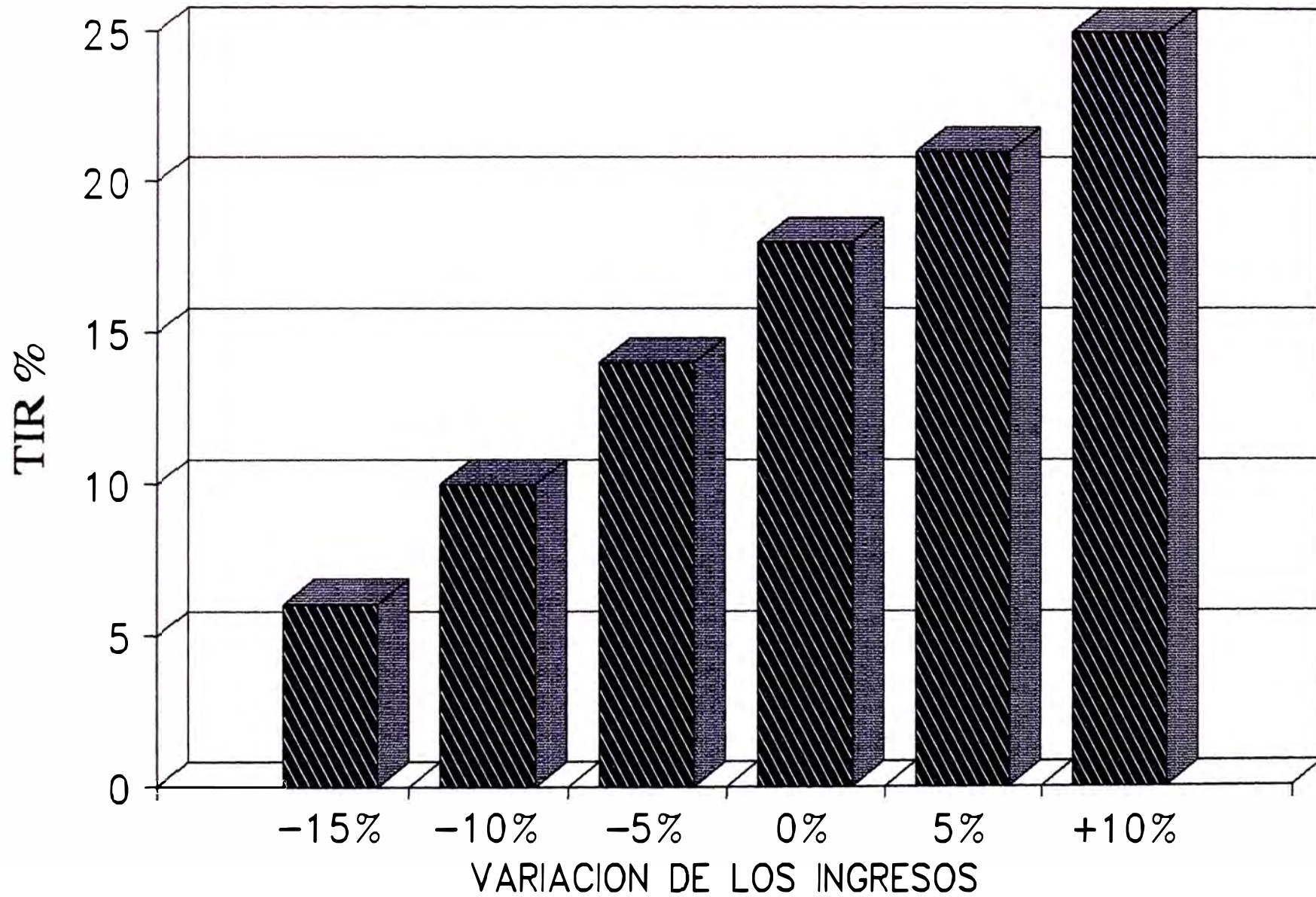


GRAFICO III

SENSIBILIDAD DE LOS EGRESOS

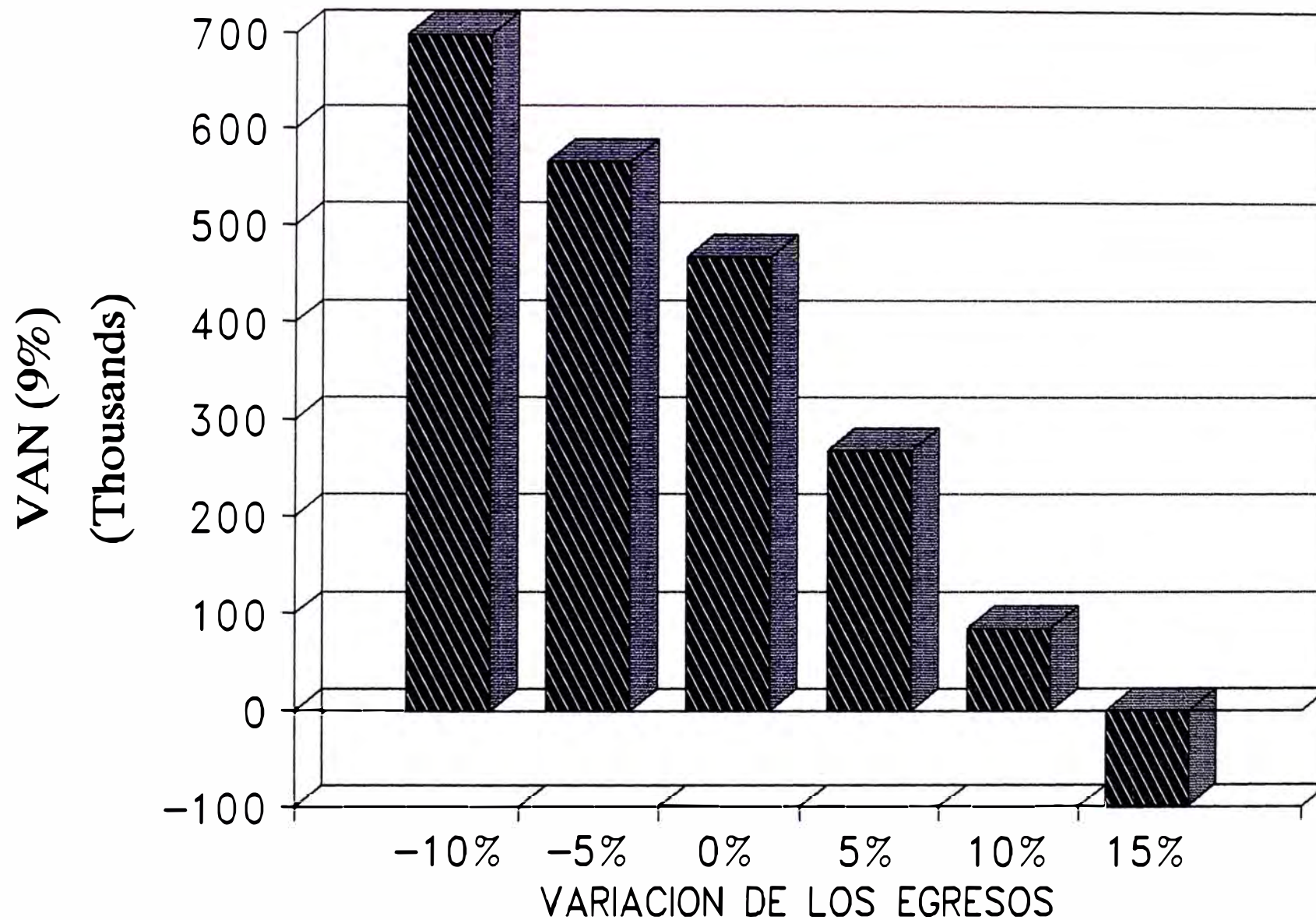
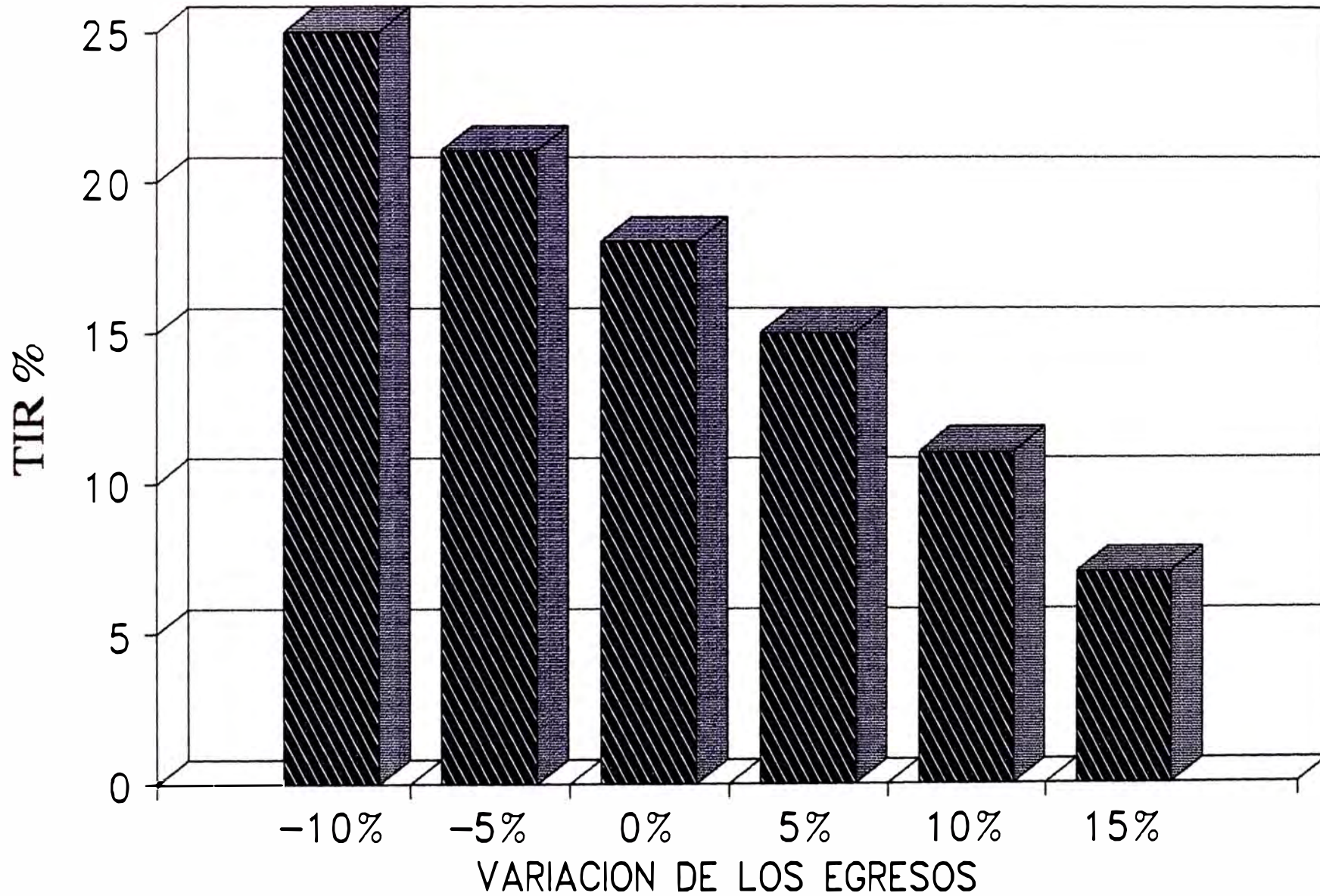


GRAFICO III A

SENSIBILIDAD DE LOS EGRESOS



BIBLIOGRAFIA

1. The Asphalt Institute: "Manual del Asfalto"
Ediciones Urmo, Bilbao 1972
2. Kirk. R y Othmer: "Enciclopedia de Tecnología Química".
3. PETROPERU: "Reporte de ventas de asfalto oxidado"
(1964-1982).
4. PETROPERU: Operaciones Comerciales. "Distribución de ventas
de asfaltos oxidados".
5. Traslex N.R.: "El asfalto, su composición, sus propiedades
y usos. Editorial Continental S.A.
6. Barth J.E: Asphalt, Science and Technology. Editorial
Gordon and Breach.
7. PETROPERU: Bombas 1986
8. Taylor G.E.: "Ingeniería Económica". Editorial Limura 1970
9. Manual para Economistas y Administradores. Edicione
Hill,1985.
- 10.Marshall Stevens: "Indices costos plantas
ingeniería química" (CE Plant Index). Editorial
Whitney,1985.
- 11.Mujlonova: "Tecnología química general" Editorial
1977.
- 12.Lekel B.M: "Procesos y Aparatos en la Industria Química".
Editorial Escuela Nueva, Segunda Edición.
- 13.McCabe Smith "Operaciones Básicas de ingeniería química".
Editorial Reverte S.A. España, 1975.
- 14.Foust y otros: "Principios de operaciones unitarias".
Octava Edición 1975.
- 15.Asfaltos Chilenos.
- 16.Informe Refinería Talara.
- 17.Goppel y Knotnerus "Cinética de los asfaltos sopladados".
- 18.Robert E. Treyball "Operaciones de la Transferencia
de masa".
- 19.Tesis Mejía R.S. "Universidad de Huamanga".

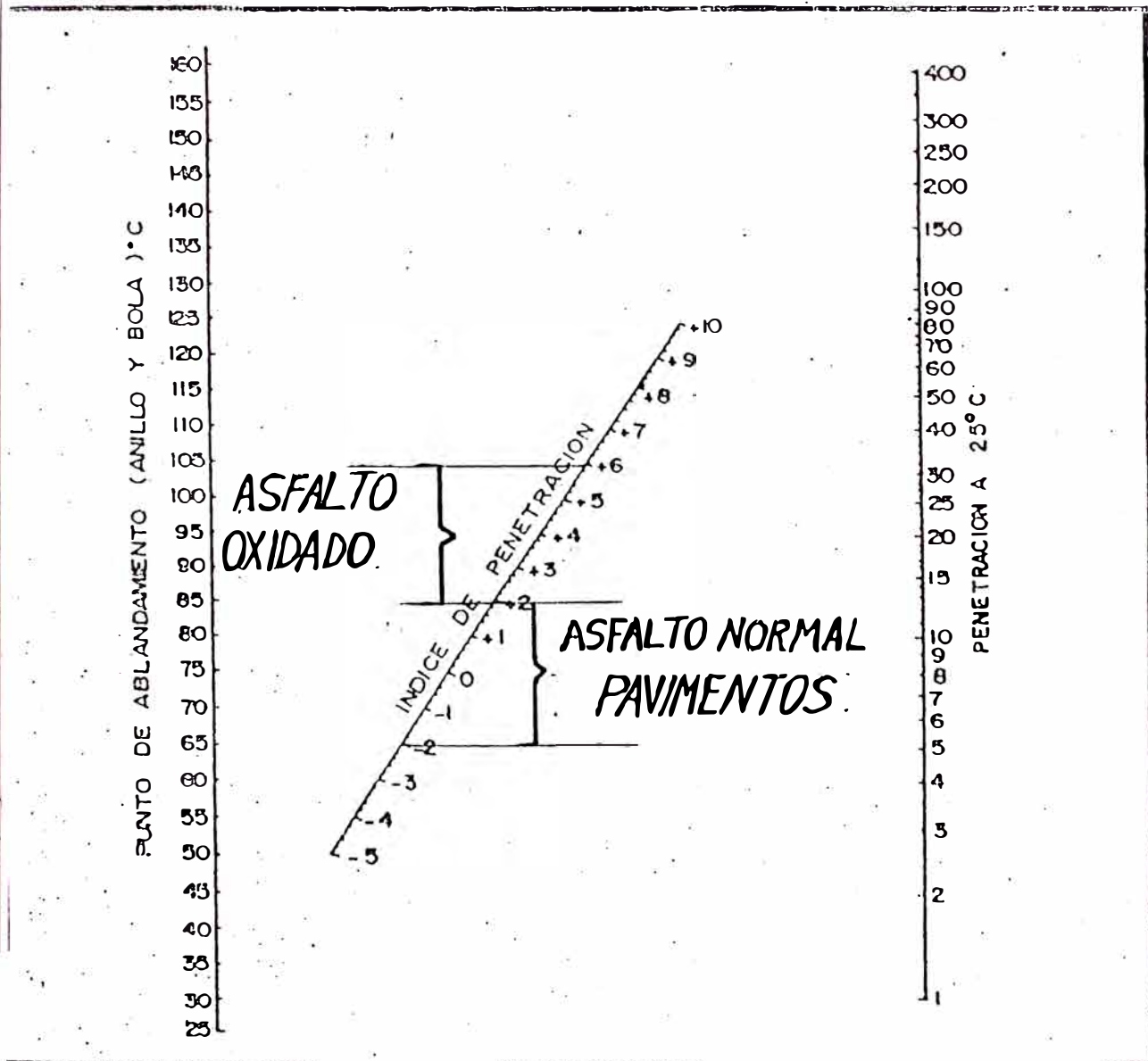
COMPENDIO DE SIMBOLOS

- T = Temperatura de operación.
- θ = Tiempo de soplado en el oxidador, horas.
- R = Punto de ablandamiento a un tiempo θ , °F.
- R = Punto de ablandamiento inicial.
- K = Constante de la velocidad de reacción hr^{-1} .
- ϕ = Diámetro de válvula.
- Q = Calor trasferido en el intercambio de calor.
- LMTD = Diferencia media logarítmica.

A N E X O S

FUENTE: B 15

2.1



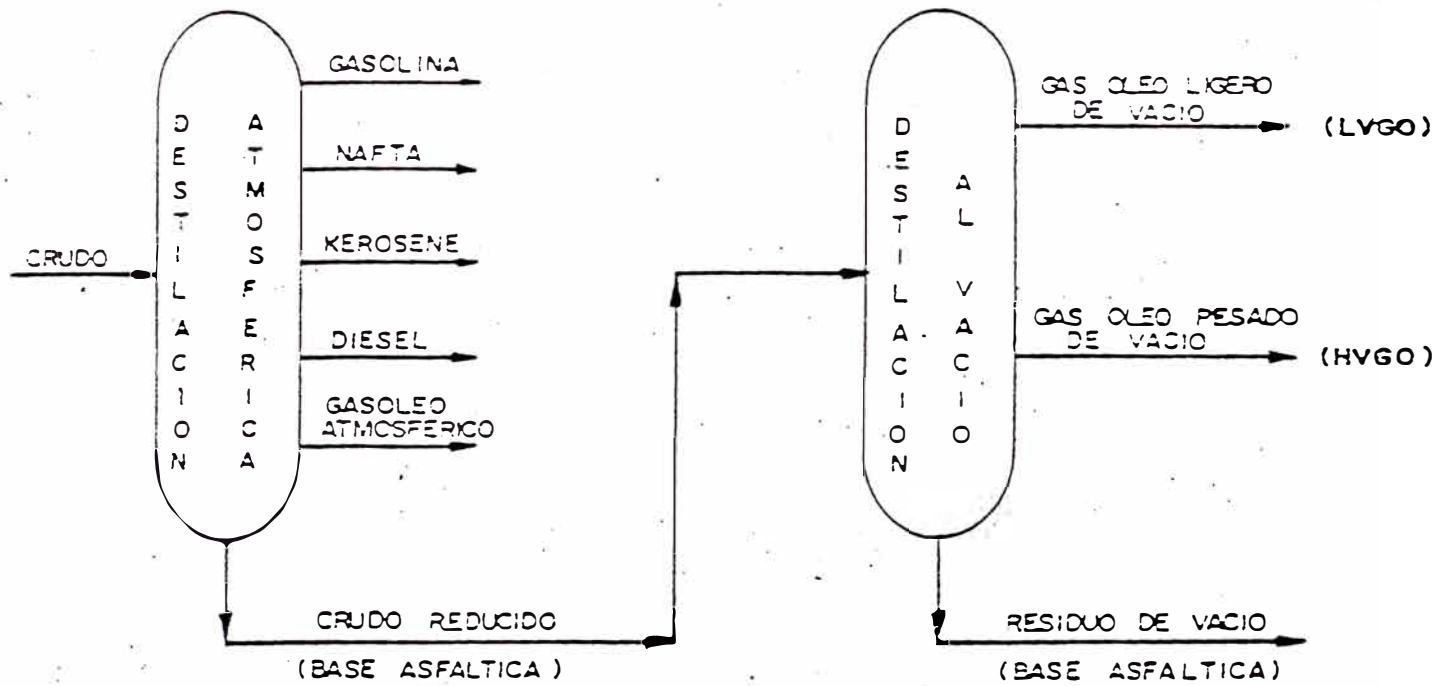
NOMOGRAMA DEL INDICE DE PENETRACION

Se coloca con una pinza la bola en el centro de la superficie superior del asfalto en el anillo.

Se empieza a calentar el baño hasta que llegue un momento en que el asfalto toque el fondo del recipiente. Se tomará la temperatura y ésta será el punto de ablandamiento.

RESULTADOS

Primera prueba	52°C
Segunda prueba	51°C
Tercera prueba	52.2°C
Promedio	52°C



MANUFACTURA DE ASFALTO

3.1

FUENTE B1

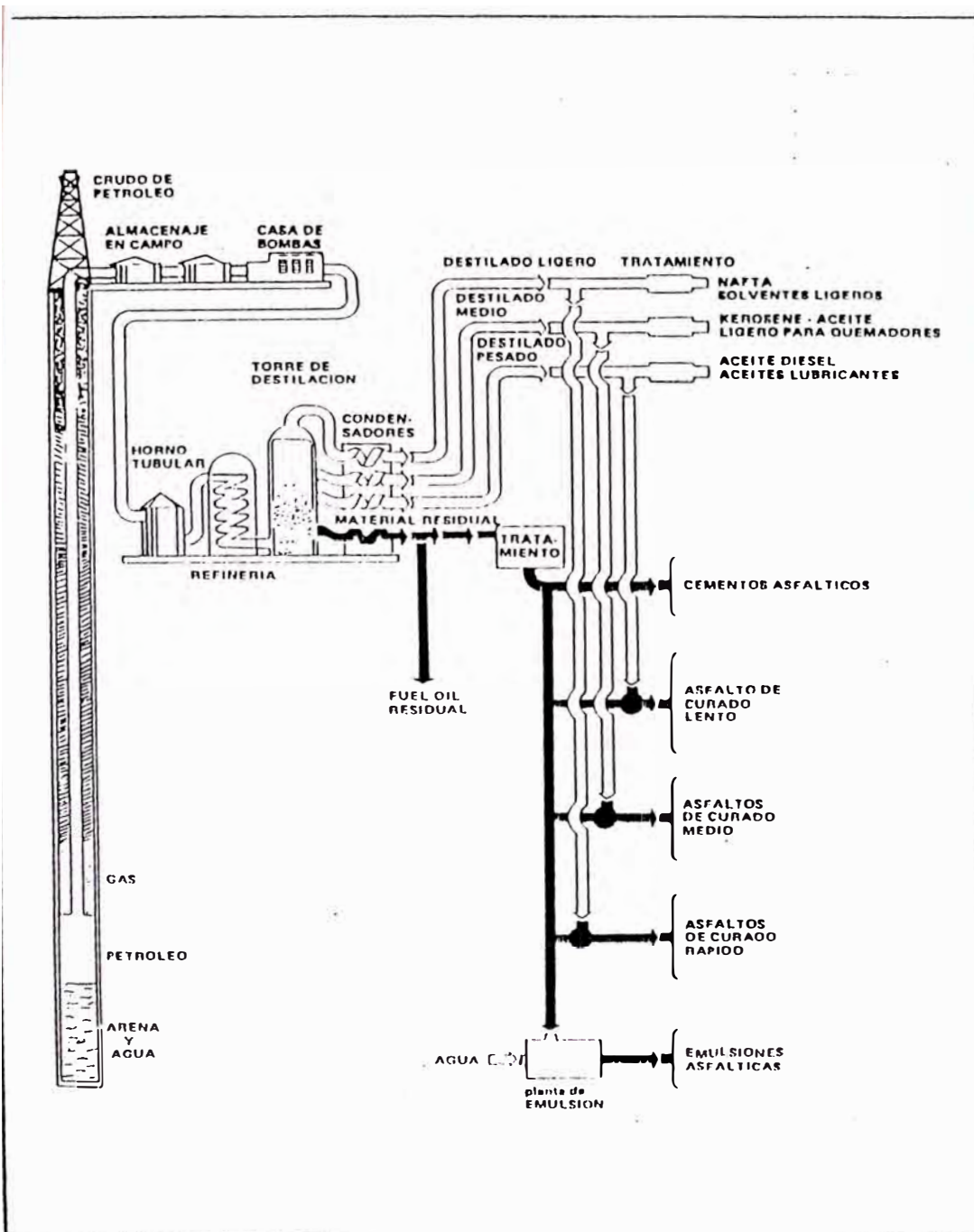


FIGURA 1. ESQUEMA DE FABRICACION DE LOS PRODUCTOS ASFALTICOS

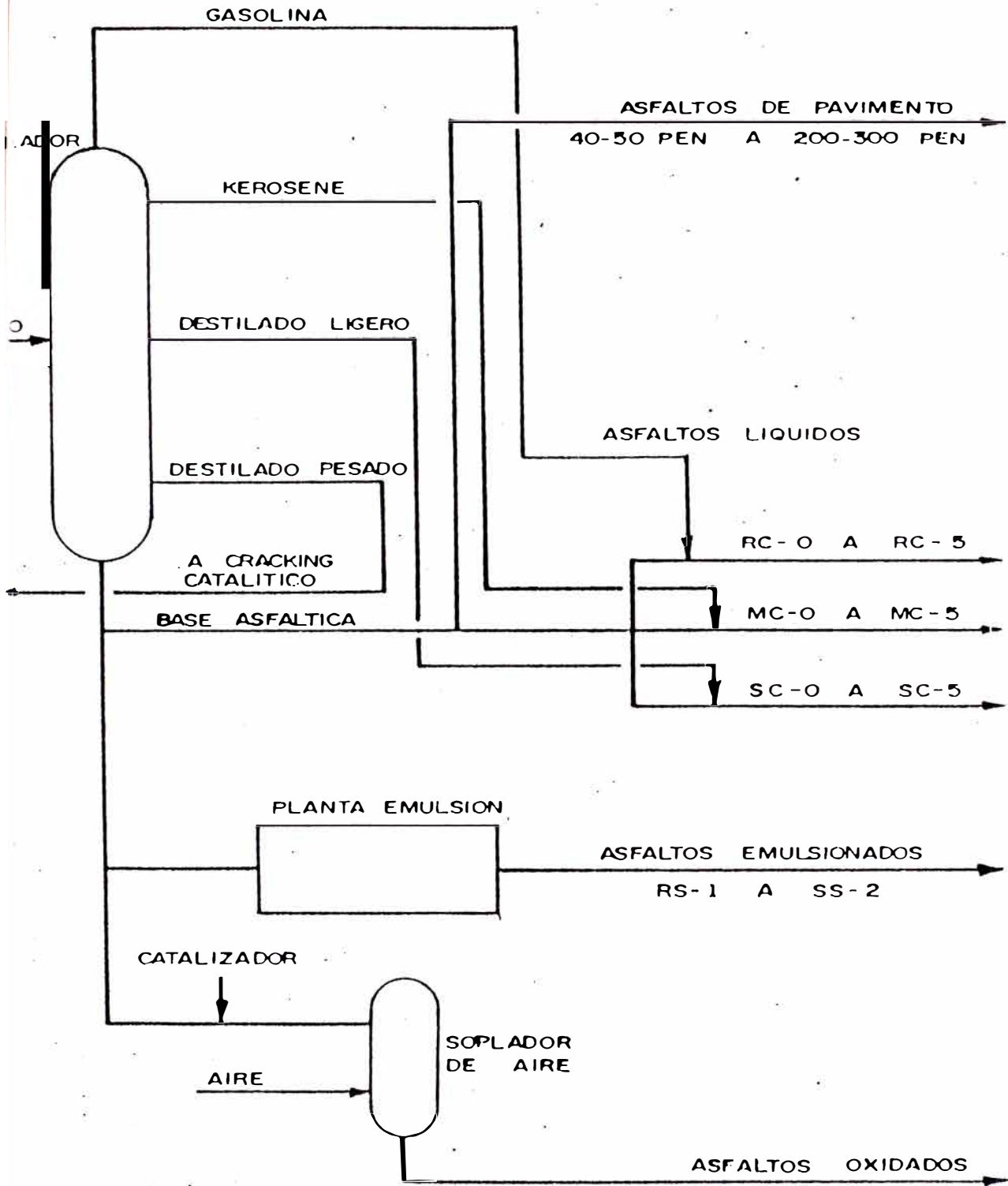
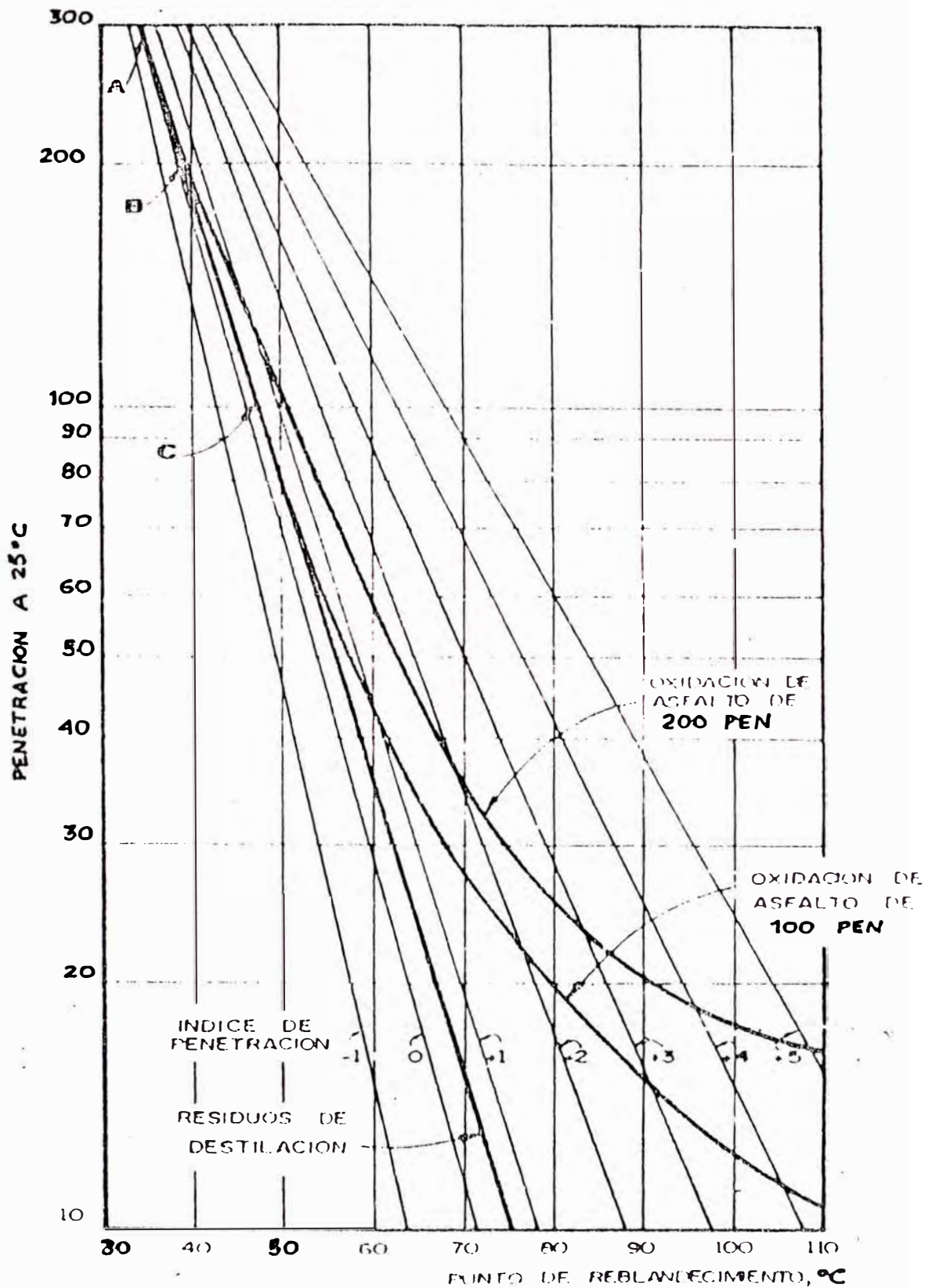
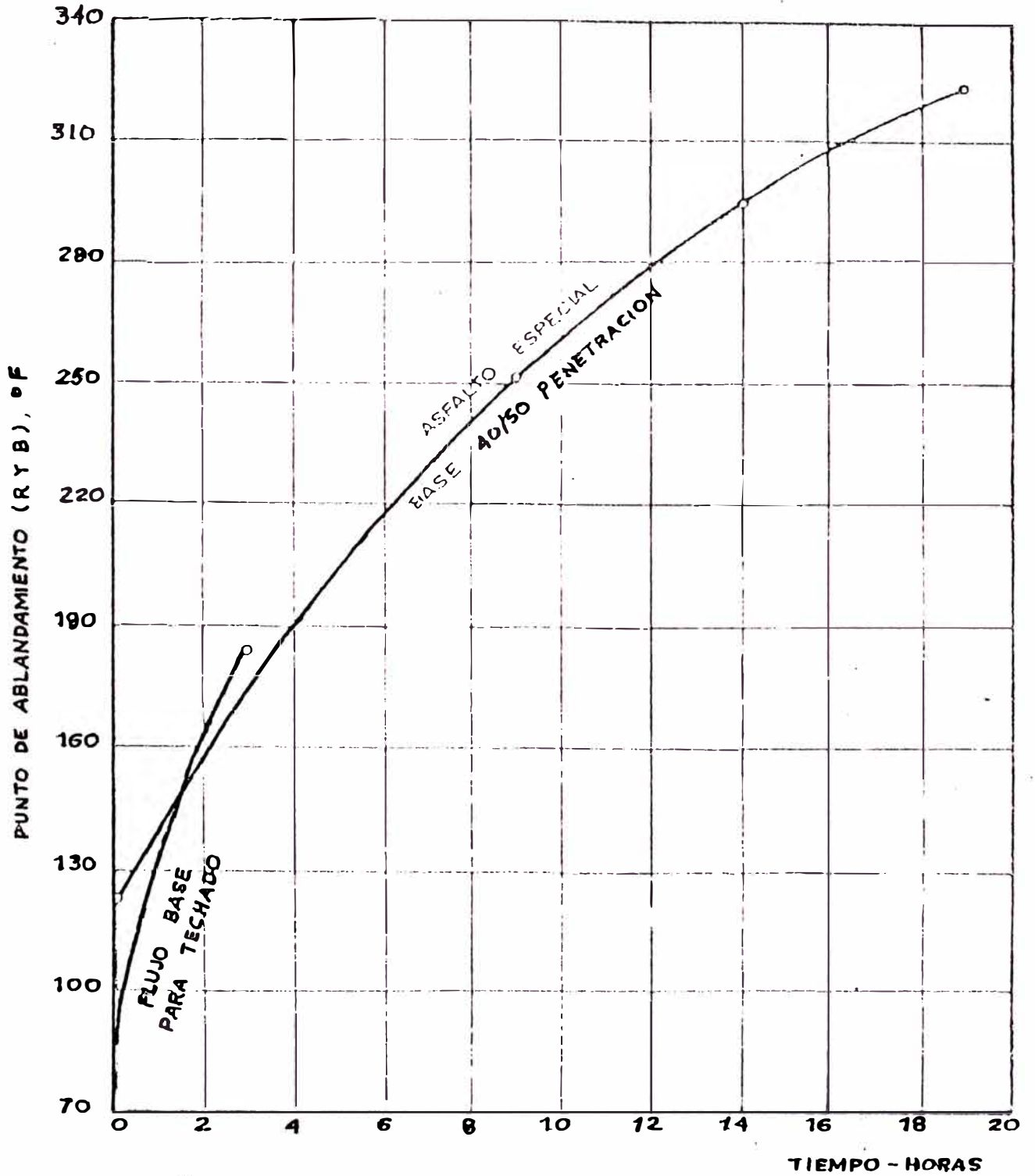


DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO DE REFINERIA DE ASFALTO

3.2



COMPARACION ENTRE ASFALTOS DE DESTILACION Y ASFALTOS OXIDADOS

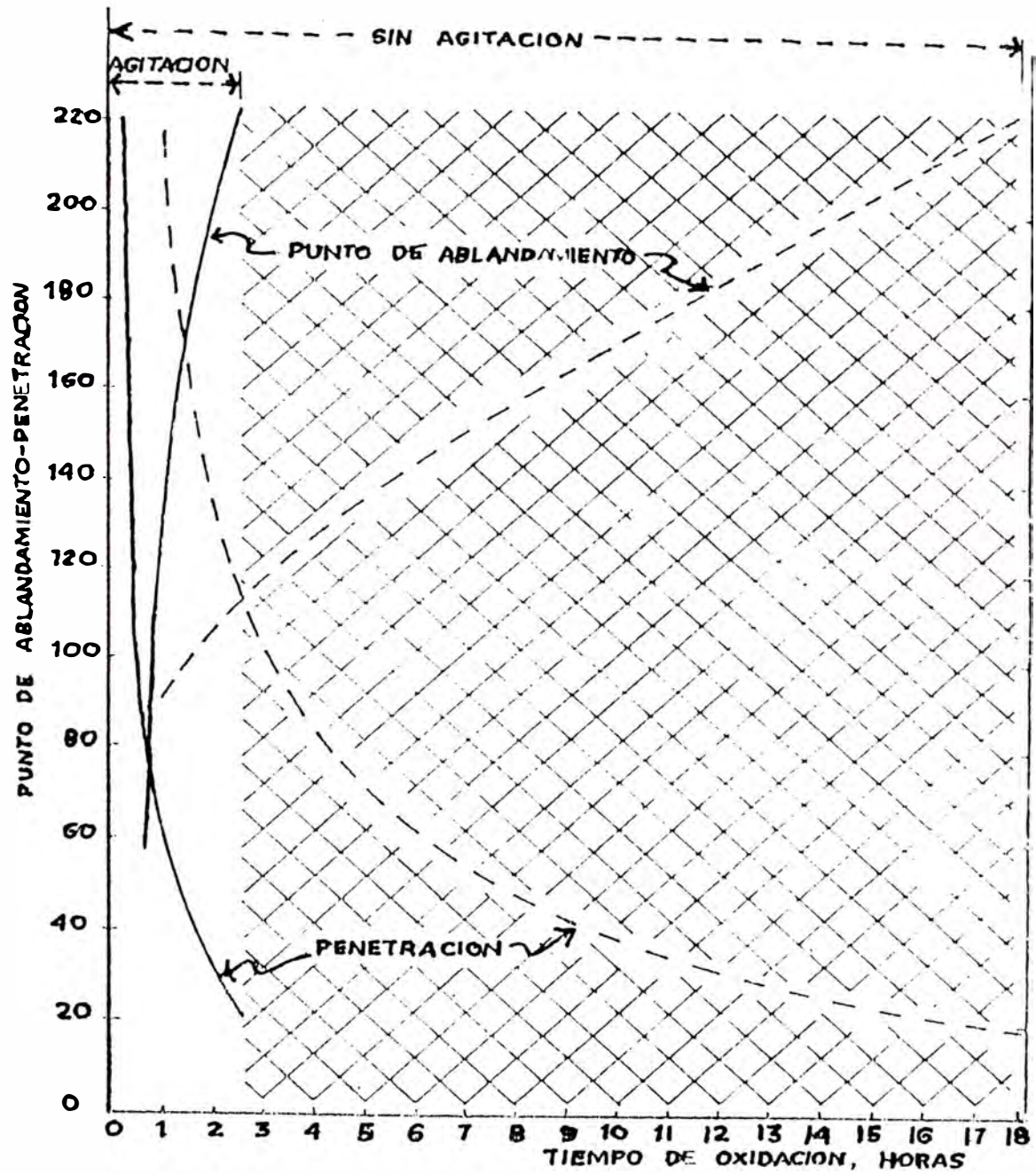


RELACION DE VARIACION DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON EL TIEMPO

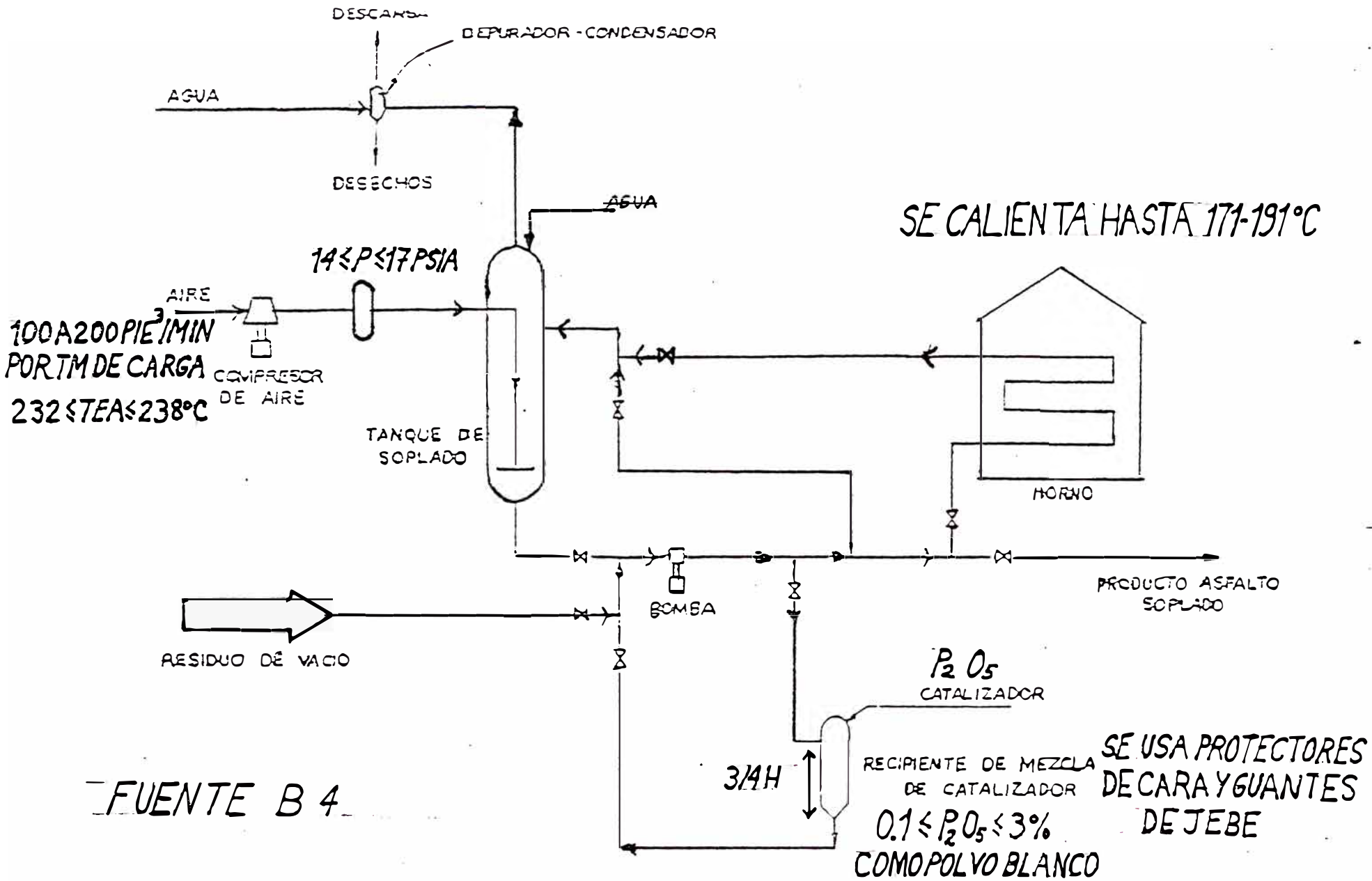
5.3

FUENTE: B5

FUENTE: B15

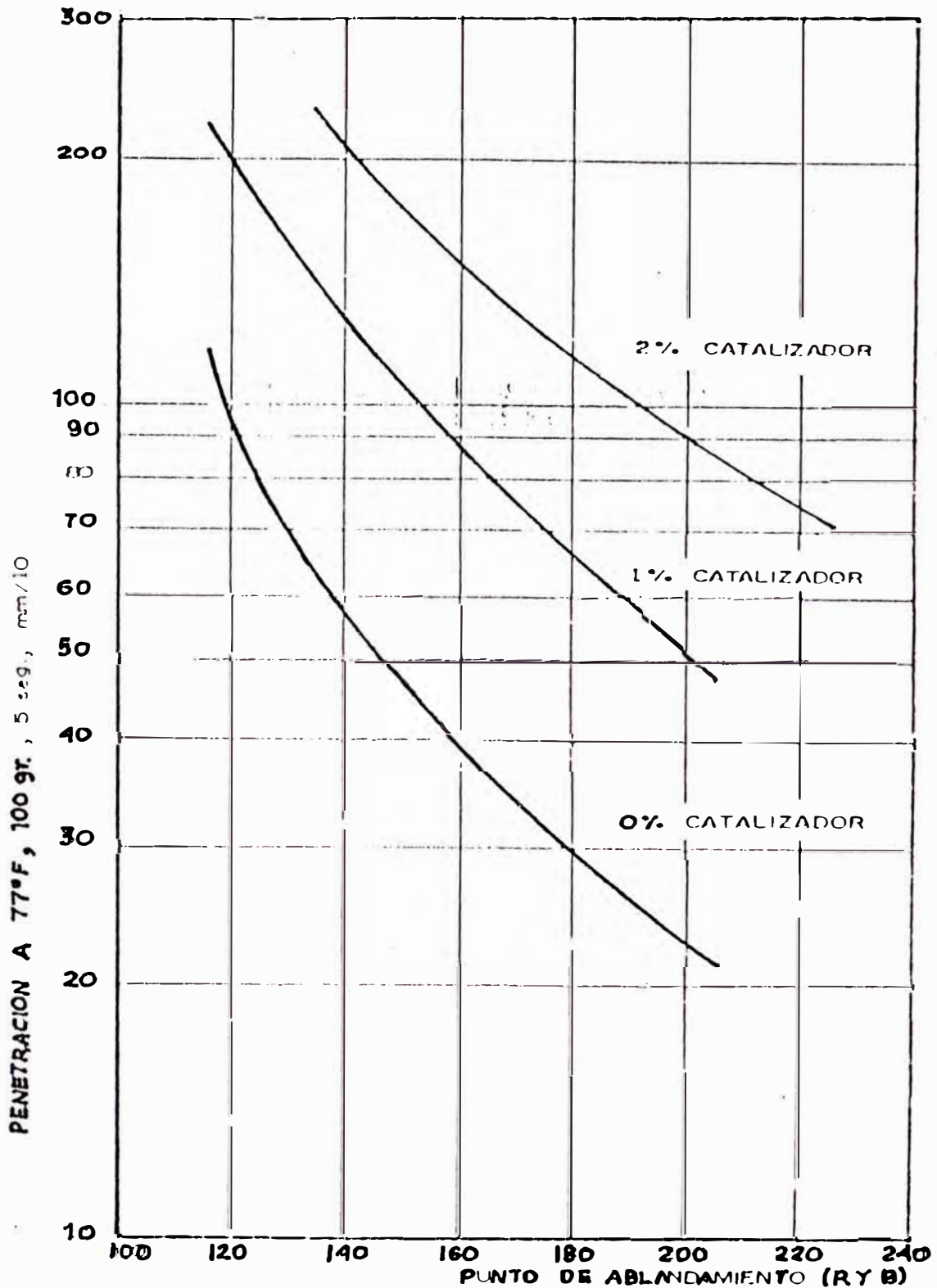


RELACION DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO-PENETRACION CON EL TIEMPO DE OXIDACION



FUENTE B 4

PROCESO DE SOPLADO CON AIRE
TIPO BATCH
5.5



VARIACION DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO Y LA PENETRACION DEL ASFALTO, CON LA CANTIDAD DE CATALIZADOR USADO

5.6

CINETICA DE LOS ASFALTOS SOPLADOS

Un estudio de las reacciones involucradas en el soplado de asfaltos con aire, fue hecha por Goppel y Knotnerus. Ellos encontraron que durante el proceso de soplado tienen lugar muchas reacciones consecutivas, el oxígeno es combinado con el asfalto en cuatro formas: ésteres, hidróxilos, carbonilos y ácidos.

El análisis de éste tipo de reacción, es bastante complicado, requiriendo conocer la concentración de oxígeno, tanto en el aire como en el asfalto. Tales datos no son fácilmente asequibles razón por la cual se toma como una medida del progreso de la reacción, el aumento del punto de ablandamiento del asfalto.

La cinética de los asfaltos soplados se ajusta a una reacción de primer orden irreversible. La ecuación diferencial para tal reacción es como sigue:

$$\frac{-dc}{dt} = K_0 C$$

La concentración de material reactante es inversamente proporcional al punto de ablandamiento del asfalto, esto es $C = a/R$. Sustituyendo, esto es la ecuación integral, se obtiene:

$$\theta = \frac{1}{K_0} \ln \frac{R}{R_0}$$

θ = tiempo de operación, hr.

K_0 = constante de velocidad de reacción total, hr

R = punto de ablandamiento a un tiempo θ , °F.

R_0 = punto de ablandamiento inicial, °F.

Holmgren hizo estudios de laboratorio para oxidación de asfaltos con aire, verificó que a altas temperaturas (500-550°F)

(260-288°F) y caudal de aire (100-200 pie³ aire/TM asfalto), la constante de velocidad de reacción, mantiene su valor para diferentes tipos de reacción, constatándose entonces para éstas condiciones una cinética de primer orden.

Sin embargo a caudales de aire menores (~ 25 pie³ aire/TM asfalto), aún para temperaturas elevadas, la constante de velocidad de reacción aumenta con el tiempo de reacción, no siendo válida en éstas condiciones la reaparición de una reacción de primer orden.

Experimentalmente se observó que la constante de velocidad de reacción depende tanto de la temperatura como del caudal del aire. Esta última dependencia puede encontrar explicación en el hecho que la reacción sea parcialmente controlada por la difusión del oxígeno desde el gas hacia la masa del asfalto líquido.

La influencia de la velocidad de agitación sobre el coeficiente cinético de reacción, fue estudiado por Rescorla de manera experimental. Llegó a la conclusión que la velocidad de difusión del oxígeno, juega un papel importante limitación de la velocidad de reacción.

VER GRAFICO DE "TABULACION DE ARRHENIUS"

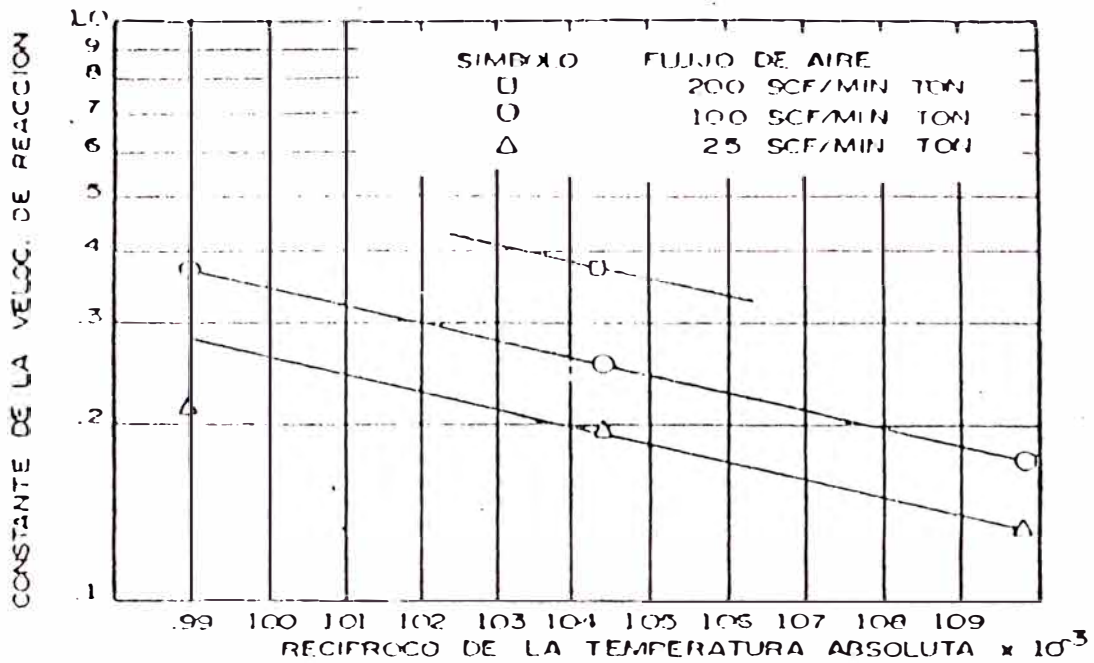


FIG. IV. 5 TABULACION ARRHENIUS REALIZADA POR HOLMGREN CON VELOCIDAD DE AGITACION CONSTANTE A DIFERENTES FLUJOS DE AIRE.

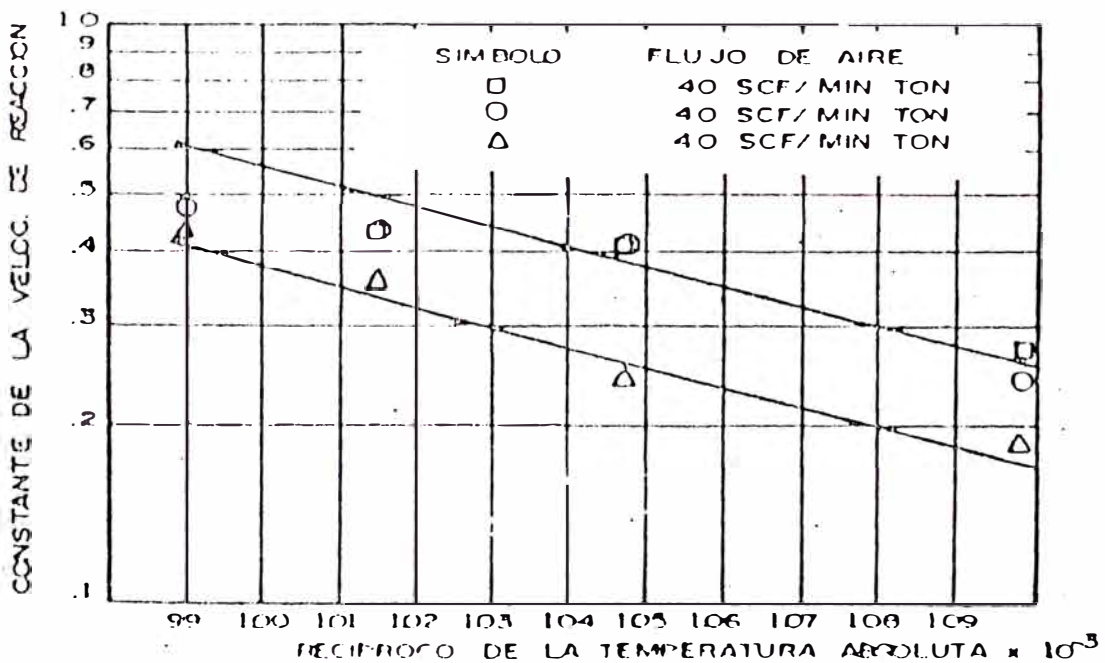


FIG. IV. 6 TABULACION ARRHENIUS DE VELOCIDAD DE REACCION CONSTANTE VERIFICADA POR RESCORLA USANDO LA ECUACION DE PRIMER ORDEN

PRODUCCION DE ASFALTOS SOLIDOS INDUSTRIALES

Para los cálculos se usará:

a) Condiciones de operación:

Temperatura: 260 °C (500 °F).

Presión (1 atmósfera)

Flujo de aire: 100 ft³/min x TM

2.832 m³/min x TM de asfalto

b) Carga: 70% residuo asfáltico 85/100: 13542 kg.

30% destilado lubricante 180/200: 5808 kg.

Carga total: 19360 kg.

c) Tiempo de soplado y cantidad de aire.

El tiempo de soplado se calcula en base a la siguiente ecuación cinética:

$$\theta = \frac{1}{k_o} \ln \frac{R}{R_o} \quad k_o = 0.121 \text{ hr}^{-1}$$

$$k_o = 80 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$R = 130 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\theta = 240 \text{ min.}$$

Flujo de aire: 54.83 m³ /min.

$$\text{CANTIDAD DE AIRE: } \frac{54.83 \text{ m}^3}{\text{min}} \times 240 \text{ min} = 13159 \text{ m}^3 \text{ de aire}$$

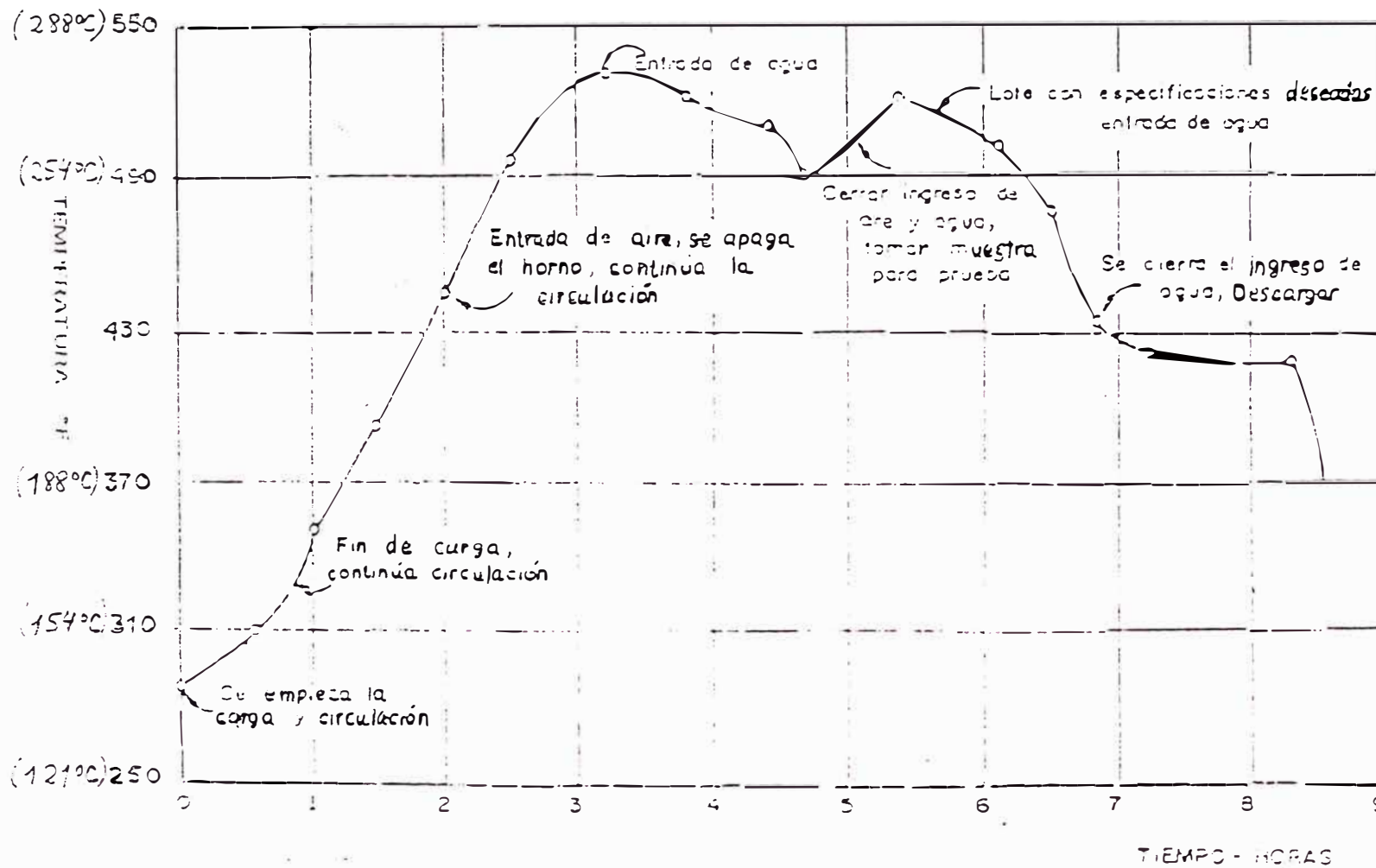
REQUERIMIENTO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

a) En el oxidador:

- Cálculo del calor de reacción

Está entre -61 y -72 kcal/mol de oxígeno consumido.

- Cantidad de aire: (13159 m³) 1.1928 kg = 15696 kg
m³



RELACION DEL TIEMPO Y TEMPERATURA DE
 PROCESAMIENTO DE ASFALTO SOPLADO CON AIRE

FUENTE B 19

MODIFICACIONES DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

En el aire 23.25% de oxígeno: 3641.48 kg.

Moles de oxígeno: 11376 moles de O_2

$$72 \frac{\text{kcal}}{\text{mol } O} (113796) \text{ mol } O_2 = 8263579 \text{ kcal}$$

La oxidación dura cuatro horas:

$$Q_r = Q_{\text{reacción}} = 2065895 \text{ kcal/hr}$$

$Q_{\text{reacción}}$ involucra tanto el calor proveniente del aire como el de la reacción propiamente dicha.

CALOR PROVENIENTE DEL VAPOR

Por recomendaciones técnicas se debe usar vapor saturado a 50 psia (dato VOF).

$$\text{Entalpía} = 650.87 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_v = Q_{\text{vapor}} = 36.36 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} (650.87) \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 23665.63 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

CALOR EN EL GAS DE TOPE

$$T = 260 \text{ }^\circ\text{C} = 50 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$P = 1 \text{ atm} = 14.7 \text{ psia}$$

$$M_{\text{gas}} = 4472 \text{ kg/hr}$$

La composición del gas de tope es la siguiente:

- Se tomó como base 100 moles de aire de alimentación

<u>COMPOSICION</u>	<u>%MOL</u>	<u>MOLES</u>
N ₂	66	79
O ₂	2,8	3.35
CO ₂	0,8	0.96
CO.....	0,3	0.36
Vapor de H ₂ O.....	30	35.9
H ₂ S.....	0,01	Despreciable
NH	0,04	Despreciable
HCS.....	0,05	Despreciable

Del gráfico de Smith Van-Ness se obtiene C_p de cada componente y se saca un promedio (ponderado).

$$C_p = 0.3114 \frac{\text{btu}}{16^\circ\text{F}} = 0.1728 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \quad (\text{Referencia } 25^\circ\text{C})$$

$$Q_{gt} = 4472 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} (0.1728) \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \quad (\text{Referencia } 25^\circ\text{C})$$

$$Q_{gt} = 181598.98 \text{ kcal/hr}$$

PERDIDAS POR RADIACION

Consideraré 10% del Calor de reacción total

$$Q_{pr} = 0.1 (2065895) = 206589.5 \text{ kcal/hr}$$

BALANCE DE ENERGIA TOTAL

$$Q_r + Q_v - Q_{gt} - Q_{rad} - Q_{aeliminar} = 0$$

$$2065895 + 23665.93 - 181598.98 - 206589.5 = Q_{a \text{ eliminar}}$$

$$1701372.45 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = Q_{a \text{ eliminar}}$$

CANTIDAD DE AGUA A UTILIZAR

$$1701372.45 = M \frac{1 \text{ Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (100-25)^\circ\text{C} + 539.6 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} + 712.626$$

$$M = 1281.91 \text{ Kg/hr}$$

$$\text{En cuatro horas: } M = 5127.63 \text{ Kg}$$

La refinería de Conchán proveerá de agua desmineralizada la cual se hace pasar por un intercambiador iónico y descarbonatador, para obtener las siguientes características:

Alcalinidad Parcial: 10 ppm de Ca C O

Alcalinidad Total : 75 ppm de Ca C O

Dureza Total : 1 ppm de Ca C O

PH = 8

Cloruros (Cl^{-1}): 164.5 ppm

T aproximada = 25°C

c) En el depurador: Cantidad de líquido: 4472 kg/hr

Flujo de agua : 4.50 m³ /hr

Se usará aguas con las mismas características que para enfriar la carga.

REQUERIMIENTOS DE VAPOR DE AGUA

- Se sabe que la cantidad de vapor por toneladas de carga es 80 lb/hr (Dato según VOP)

Cantidad de vapor: 2810 kg de vapor saturado por lote de producción.

6.4 ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS Y DISEÑO

6.4.1 Reactor oxidador

a) Número de oxidador: 1

b) Volumen de carga:

$$V_{\text{carga}} = \frac{13552 \text{ kg}}{1020 \text{ kg}} + \frac{5808 \text{ kg}}{920 \text{ kg}} = V_{\text{aer}} + V_{\text{dent}}$$

m³

m³

$$V_{\text{carga}} = 19.60 \text{ m}^3$$

c) Diámetro del oxidador: $D = H_{\text{carga}}$

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H \quad H = \frac{4}{\pi} \frac{V}{D^2} \rightarrow D = \left[\frac{4 (19.6)}{\pi} \right]^{1/3}$$

$$D = 2.92 \text{ m}$$

d) Volumen del diseño

$$V_d = \frac{19.60}{0.75} (1.50) = 27.48 \text{ m}^3$$

Donde 0.05 es el factor de seguridad.

e) Volumen del oxidador : 7260 galones

f) Propiedades de la carga a 50 °C

- Densidad de mezcla: $\rho = 950 \text{ kg/m}^3$

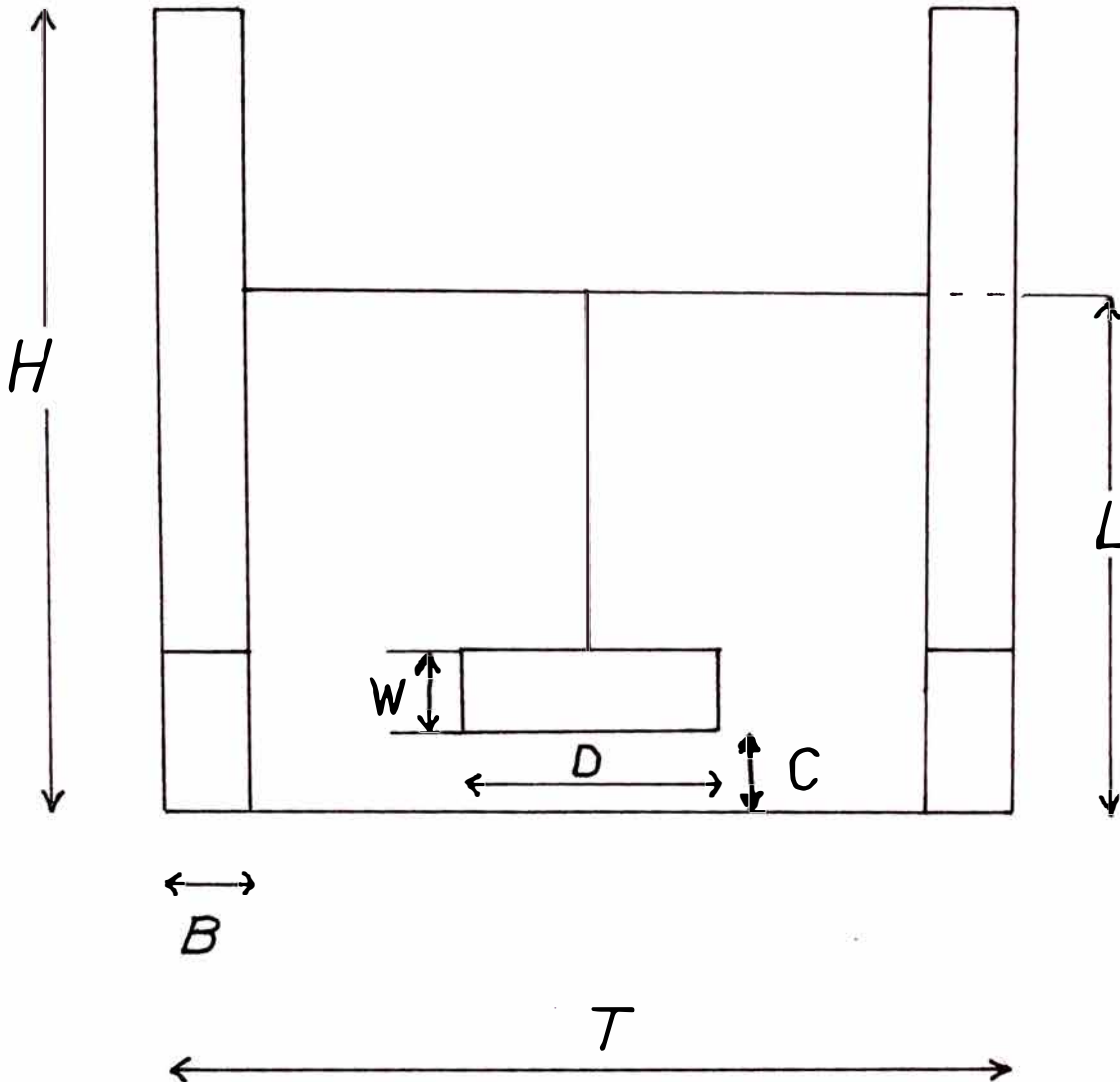
- Viscosidad de la mezcla: $\mu = 81 \text{cp} = 0.081 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{seg}}$

g) Diseño Mecánico del Oxidador

$\rho = 950 \text{ kg/m}^3$ $\mu = 0.081 \text{ kg/m}\cdot\text{seg}$

$N = 1.67 \text{ RPS (100 RPM)}$

DISEÑO RECOMENDADO POR SNAMPROGETTI



L =ALTURA DEL LIQUIDO
 H =ALTURA DEL OXIDADOR

$$\frac{L}{T} = 1 \rightarrow t = 2.92 \text{ m}$$

T

$$H = 4.1 \text{ M}$$

$$\frac{B}{T} = 0.1 \rightarrow B = 0.292$$

T

$$\frac{T}{D} = 0.3 \rightarrow T = 2.92$$

D

$$\frac{C}{D} = 0.3 \rightarrow C = 0.292$$

D

$$\frac{D}{W} = 5 \rightarrow w = 0.1946 \text{ m.}$$

W

Cálculo de la potencia del agitador

- Determinación del número de Reynolds $Re = \rho_L(N)d_i^2 / \mu_i$

Trabajaremos con impulsadores tipo turbina de hoja plana.

- Determinación del factor potencia (Fuente B 18)

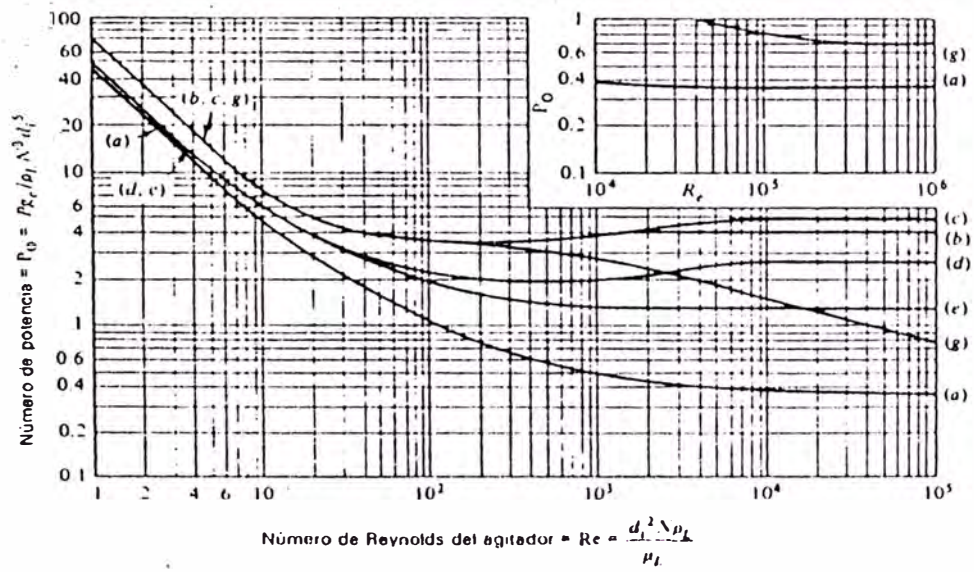
- Cálculo de la potencia hidráulica para agitador tipo turbina.

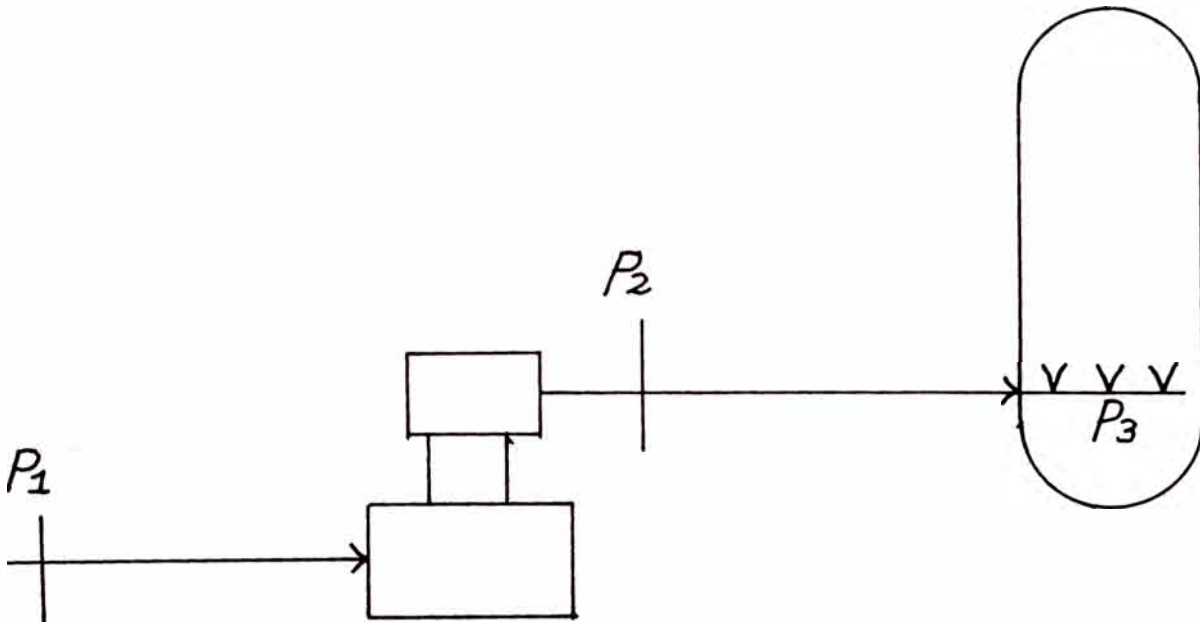
$$P = \frac{N_p N^3 \rho D^5}{75 \text{ gc}} = \frac{4 (1.67)^3 (950) (0.973)^5}{75 (9.81)} = 20.98 \text{ CV}$$

- Cálculo de la potencia del motor.

$$CV = P (1.1) + 0.5$$

$$CV = 23.6 \text{ CV} = 17.67 \text{ KW}$$



Soplador

Pasfalto = $P_{atm} + \text{Peso específico (Altura)}$

$h = \text{altura del asfalto} = 2.744 \text{ mts.}$

Pasfalto = $12967.3 \text{ kg/m}^2 = 1.255 \text{ atmósfera}$

$P_{aire} = 1.1 \text{ Pasfalto} = 1.380568 \text{ atmósferas}$

Flujo aire = $1936 \text{ pie}^3/\text{min} = 54.83 \text{ m}^3/\text{min} = 0.914 \text{ m}^3/\text{s}$

Pérdidas

Diámetro interno de la tubería: $D=6 \text{ pulgadas}=0.1525 \text{ mts}$

Area tubería = 0.01823 m^2

Velocidad de flujo = $V = \frac{0.914 \text{ m}^3/\text{s}}{0.01823 \text{ m}^2} = 50.12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Cálculo del factor de fricción : f

$P_{aire} = 1.193 \text{ kg/m}^3$

$\mu_{aire} = 1.8 (10)^{-3}$

Número de Reynolds = $5.1 (10)^5$

Para acero comercial : $E = 0.00015$

En el gráfico de Moody : $f = 0.0165$

Por fricción

$$h_f = \frac{0.0165 (4) (50.12)}{0.1524 \cdot 2(9.81)} = 55.448 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Un codo: } h_c = \frac{0.48 (50.12)^2}{2 (9.81)} = 61.456 \text{ kg/m}^2$$

Pérdidas totales: $116.91 \text{ kg/m}^2 = 0.01131 \text{ atmósferas}$

$$P_3 = 1.3806 + 0.01131 = 1.39 \text{ atmósferas}$$

$$\Delta P = 0.39 \text{ atmósferas} = 39 \text{ KPa}$$

Se usará un soplador rotatorio:

$$m = \text{Densidad (Area) (Velocidad)} = 1.09 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Calculando la potencia: W_s

$$W_s = \frac{mR T_1 K}{M(K-1)} \left(\frac{P_2}{P_1} - 1 \right)$$

Siendo $K=1.4$ $P_2=1.38$ $P_1=1$ $M=29$

$$W_s = 3135.45(\text{kg-m})/\text{s} = 30.75 \text{ KW}$$

$$\text{Potencia real} = \frac{30.75}{0.75} = 40.99 \text{ KW}$$

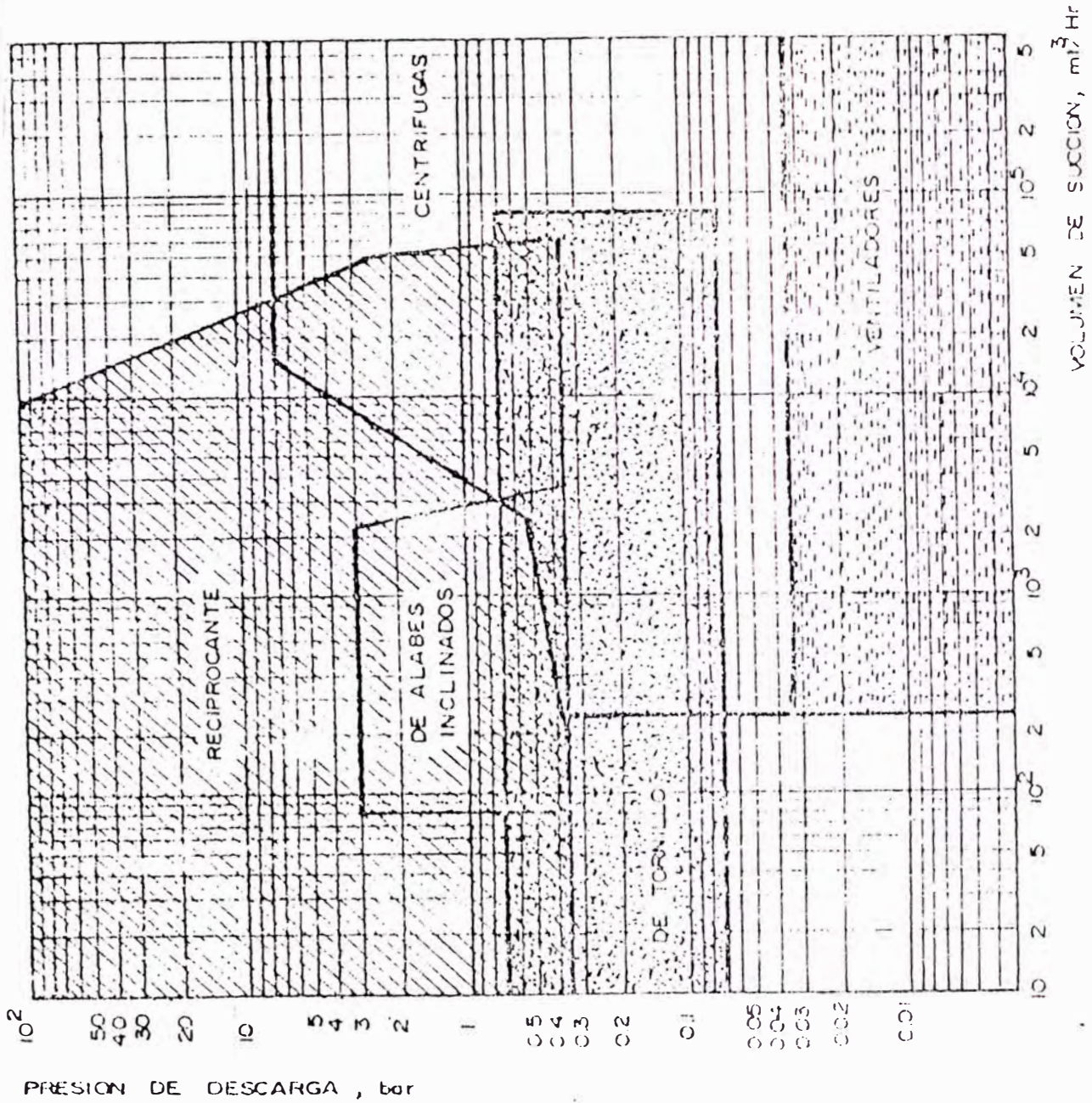


DIAGRAMA DE SELECCION
DE COMPRESORES
FUENTE B12

Depurador de Gases (Método recomendado en el libro de Alan Foust)

a.- Determinación del flujo de gases a la salida del oxidador
Se sabe que por cada mol de aire que ingresa en el oxidador sale 1.028 moles de gases.

Flujo de aire = 54.83 m³/min

Flujo de gases = 6.589 m³/min (260°C, 1 atm.)

b.- Condiciones de diseño

Con fines de diseño se considerará una mezcla SO₂-aire que se tratará en una torre de absorción de relleno con anillos cerámicos Rasching de 1", empleando agua como líquido absorbente.

Concentración de SO₂ : Se asume 30% para ser extraído casi totalmente.

Densidad del agua = 1000 Kg/m³ = ρ_L

Viscosidad del agua = 1 cp = μ_L

Relación entre gas y líquido = $\frac{1 \text{ Kg de gas}}{1 \text{ Kg líquido}}$

Velocidad del gas igual al 80% de la velocidad de inundación

c.- Dimensionamiento del depurador

Peso molecular del gas entrante:

$$0.02(64) + 0.98(29) = 29.7$$

Densidad del gas:

$$\rho_g = \frac{29.7(273)}{22.415(533)} = 0.6787 \text{ Kg/m}^3$$

Masa total del gas a la entrada:

$$0.6787(6.5089) = 4.472 \text{ Kg/hr}$$

Determinación de la velocidad de inundación:

Se hará uso de la representación logarítmica frente al grupo:

$$G_x = \frac{\delta_y}{\delta_x}^{1/2}$$

$$G_y = \delta_x^{1/2}$$

Usando gráfico (B14), donde:

$$G_x = \text{Velocidad másica del líquido} = \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}$$

$$G_y = \text{Velocidad másica del gas} = \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}$$

$$\delta_y = \text{Densidad del gas} = \text{Kg/m}^3$$

$$\delta_x = \text{Densidad del líquido} = \text{Kg/m}^3$$

a_v = Área de superficie del relleno seco por unidades de volumen de relleno, expresado en m^2/m^3

e = Porosidad o fracción de huecos de relleno (Adimensional)

$$G_x/G_y = 1 \quad (\delta_y/\delta_x)^{1/2} = (0.6787/1000)^{1/2} = 0.026 \rightarrow (G_x/G_y)(\delta_x/\delta_y)^{1/2} = 0.026$$

Tenemos: $\frac{G_y a_v (\mu_x)^{0.2} (998/\delta_{L2})}{g_c e^3 \delta_x \delta_y} = 0.2$ (En el gráfico)

$$g_c e^3 \delta_x \delta_y$$

Para anillos Rasching de cerámica de 1".

$$a_v = 190 \text{ m}^2/\text{m}^3 \quad e = 0.73$$

La velocidad másica correspondiente a la inundación es:

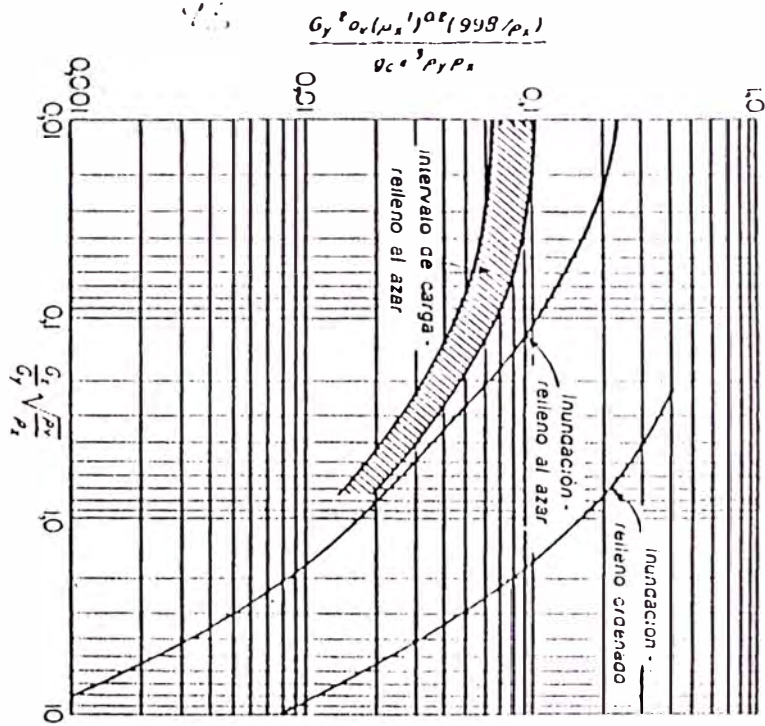
$$G_y = \left(\frac{0.2(1.271)(10)(0.73)(0.6787)(1000)}{190(1)(0.998)} \right)^{1/2}$$

$$G_y = 5949 \text{ Kg}/(\text{hr} \cdot \text{m}^2)$$

La torre se diseñara para una velocidad de gas de 80% de la inundación:

$$G_y = 0.8(5949) = 4759.5 \text{ Kg}/(\text{hr} \cdot \text{m}^2)$$

670 Transferecia de materia y sus aplicaciones



El gasto correspondiente al líquido es también:
4759.5 Kg/(hr-m²)

El área S de la sección transversal de la torre es:

$$S = \frac{4472}{4759.5} = 0.94 \text{ m}^2$$

Diámetro de la torre: D=1.1 m.

Altura del relleno de la torre: 3.3 m

Altura total de la torre: 3.5 m

Por la parte inferior saldrá un agua aceitosa y los gases que salen por la parte superior irán a un incinerador (Quemador).

BOMBAS

B1. Bomba para el destilado lubricante: Carga al reactor oxidador.

Masa a bombear: 5808 kgs

Viscosidad del fluido a bombear: $\mu=22\text{cp}=0.22\text{Kg}/(\text{m}\cdot\text{seg})$

Caudal=Q=0.31 m³/seg= 0.00517 m³/seg

Diámetro de la tubería de succión: D= 3" Cédula 80

Diámetro de la tubería de descarga: D=2" Cédula 80

De un balance de energía se tiene:

$$-W=Lwf+(P_b-P_a)/\rho.e.+ (G/G_c)(Z_2-Z_1)+(V_b-V_a)/2g_c$$

$$P_a = P_b \quad V_a = V_b$$

La ecuación queda:

$$-W=Lwf+(G/G_c)(Z_2-Z_1)$$

Determinación de las pérdidas por fricción en la tubería de succión: Lwf

Diámetro interno: DI=2.9"=0.007366m=DI

El área de la sección transversal de la tubería es:

$$A=(DI)^2(\pi)/4=0.00426 \text{ m}^2$$

La velocidad del fluido del tubo es:

$$V_1= Q/A_1= 1.21 \text{ m/seg}$$

Determinación del factor de fricción: f_1

Número de Reynolds= $Re=3730$

Para acero comercial: $e=0.00015$ $e/d=0.0006$

En el gráfico de Moody con $Re=3730$ y $e/d=0.0006$ se obtiene $f_1= 0.041$.

Determinación de la longitud equivalente:

Longitud de la tubería= 10.5 m	<u>L/D</u>	
Accesorios:1 válvula 3/4 abierta	35	2.58 m
1 codo de 90 grados	30	2.21 m
Entrada del recipiente al tubo ($K=0.78$)		3.31 m

$$L_w=18.8 \quad L_{wfs}=f_1(L_s)(V_1)^2/(2d_1G_c)=0.77$$

Determinación de las pérdidas por fricción en la tubería de descarga.

Diámetro interno: $D_1=D_2=1.939''=0.4952 \text{ m}$

Area de la sección transversal de la tubería:

$$A_2=\pi(D^2)/4=1.9(10)^{-2} \text{ m}^2$$

Velocidad del flujo en el tubo:

$$V_2= V_1(A_1/A_2)=2.72 \text{ m/seg}$$

Determinación del factor de fricción: f_2

$Re=5600$

Acero comercial : $e/d=0.00088$

En el gráfico se obtiene: $f_2= 0.037$

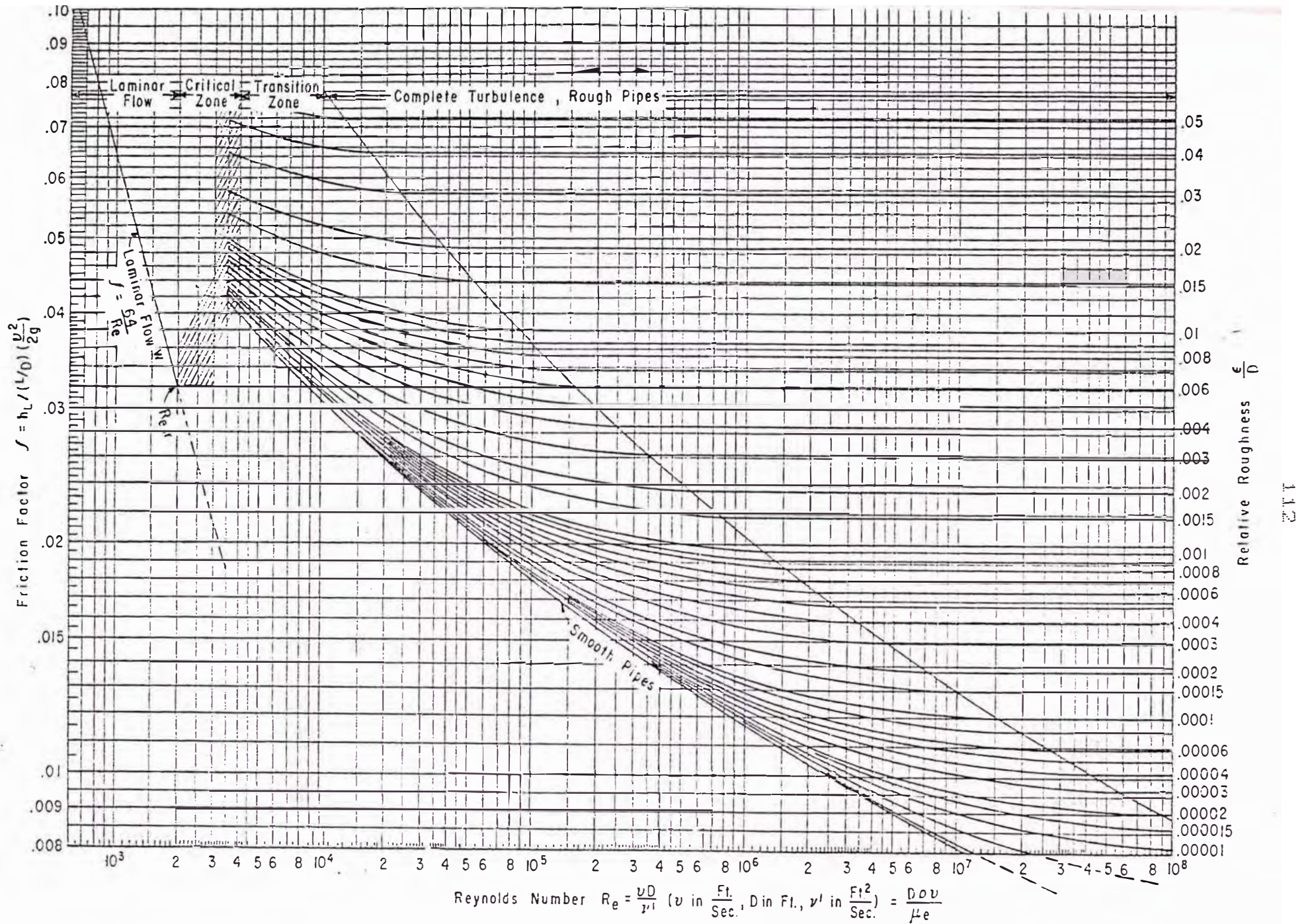


Figure 2-2. Moody or "regular" Fanning friction factors for any kind and size of pipe (Reprinted from *Pipe Friction Manual*, copyright 1954 by the Hydraulic Institute, 122 East 42nd St

New York.) Data from L.F. Moody, "Friction Factors for Pipe Flow," by ASME.

Determinación de la longitud equivalente:

Longitud lineal: 93.92

Accesorios	<u>L/D</u>	
1 válvula 3/4 abierta	35	1.73 m
2 codos de 90 grados	30	2.95 m

Ensanchamiento repentino(de la tubería al tanque)

$K=1$ $L_e = 101.1$ m

$L_{wdf} = 28.55$ (Kgf-m)/Kg

Pérdidas total por fricción: L_{wf}

$L_{wf} = L_{wfs} + L_{wfd} = 29.32$ Kg-f/Kg

Determinación de la longitud potencial:

$(Z_2 - Z_1)G/G_c = 3.93 - 0$

En el balance de energía se tiene:

$W = (3.92 + 29.32)(\text{Kgf-m})/\text{seg} = 33.24(\text{Kgf-m})/\text{Kg}$

El signo menos denota que el trabajo se esta haciendo sobre el fluido de la bomba.

Determinación de la potencia teórica:

$\text{Pot} = (-W)(q.p)$

$\text{Pot} = 161.1$ Kgm/seg = 2.5 Cv

Potencia real = Potencia teórica/eficiencia

Potencia real = $2.5/0.6 = 3.58$ Cv = 2.63 Kw

Se elige una potencia de 4 Cv = 2.94 Kw

Bomba-2 (Para el solvente #3)

Masa a bombear = 7107.6 Kg

Caudal = $Q = 0.4443$ m³/min

Potencia = 3.5 Cv = 2.58 Kw

Se considerará una potencia de 4 CV = 2.94 Kw

Bomba-3 (Del tanque de reposo al oxidador)

Masa a bombear: 12552 Kg

Caudal: $Q=0.13 \text{ m}^3/\text{min}$

Potencia=1.08 Cv=0.80 Kw

Bomba-4 (De unidad de vacío al tanque de reposo) $Q=2.21(10)^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$

Potencia=0.88 Cv= 0.65 Kw

Potencia seleccionada=1 Cv= 0.736 Kw

Las bombas serán de tipo recíprocante.

DISEÑO DE EQUIPOSDiseño de intercambiador de doble tubo

Residuo asfáltico (Fluido caliente)

 $T_1=330^\circ\text{C}$ $T_2=300^\circ\text{C}$

M= 17929.3 lb/hr

Gr-Sp=1.02

Máxima caída de presión=10 psia

Resistencia al ensuciamiento:

0.01 hr \times ft \times F/Btu

Fluido frío: Agua

 $t_1=25^\circ\text{C}$ $t_2=35^\circ\text{C}$

Gr-Sp=1 (30°C)

Máx. P=10 psia

Resistencia al ensuciamiento: 0.0001 hr-ft $^\circ$ F/Btu**1.-Balance térmico:**

$$Q=M' \cdot C'_p (t_2-t_1)=M \cdot C_p (t_1-t_2)$$

 $T_{prom}=315^\circ\text{C}$ $C_p=0.678 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$ (A 315 °C)

$$Q=17929.3(0.678)(626-572)=656427.53 \text{ Btu/hr}$$

$T_{prom}=86^{\circ}\text{F}$ $C_p=1 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$ $M'=36468.2 \text{ lb/hr (agua)}$

2.-Cálculo del LMTD

$$\text{LMTD} = \frac{(t_1-t_2)-(t_2-t_1)}{\ln \frac{(t_1-t_2)}{(t_2-t_1)}} = \frac{(625-95)-(572-77)}{\ln \frac{531}{495}}$$

LMTD=513°F

3.-Tubo exterior IPS= 3"

Tubo interior IPS= 2"

DN(inch)	D_o (inch)	Cédula	DI(pulg)
3	3.5	40	3.068
2	2.38	40	2.067

4.- Elección del fluido que va por el tubo interior y el ánulo.

TUBO

Area transversal: $\pi(2.067^2)/4=3.354 \text{ pul}^2$

ANULO

Area de flujo: $\pi(3.068^2-2.38^2)/4=2.942 \text{ pul}^2$

Para el tubo interior: Agua

Para el ánulo: Residuo Asfáltico

5.- Temperaturas calóricas.

$$T_e = T_2 + F_e(T_1 - T_2)$$

$$t_e = T_1 + F_e(t_2 - t_1)$$

$$t_e = \frac{t_2 - t_1}{t_2 - t_1} = \frac{572 - 77}{626 - 95} = 0.94$$

$$t_2 - t_1 = 626 - 95$$

$$K_e = 1.25 \quad F_e = 0.435$$

$$T_c = 572 + 0.435(626 - 572) = 595.5^\circ\text{F}$$

$$t_c = 77 + 0.435(95 - 77) = 85^\circ\text{F}$$

6.- Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor: U_c

Tubo interior

1) Área de flujo

$$a_t = \pi d_i^2 / 4$$

$$a_t = 0.023229 \text{ ft}^2$$

2) Velocidad másica

$$E_t = \frac{M}{a_t} = \frac{36468.2}{0.023229}$$

$$E_t = 1567830.83 \frac{\text{lb}}{\text{hr-ft}^2}$$

3) A una $t_c = 85^\circ\text{C}$

$$U = 0.86 \text{ cp} = \frac{2.0812 \text{ lb}}{\text{ft-hr}}$$

$$C_p = 1 \text{ Btu}/(\text{Lb}^\circ\text{F})$$

$$K = \frac{0.356 \text{ Btu}}{\text{hr}(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})}$$

Tubo interior

4) Cálculo de Reynold

$$Re = \frac{0.1722(1565830.83)}{2.0812}$$

Anulo

1) Área de flujo

$$a = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2)$$

$$a = \frac{\pi}{4} (0.2557^2 - 0.1983^2)$$

$$a = 0.02046 \text{ ft}^2$$

2) Diámetro equivalente

$$d_e = (D_o^2 - D_i^2) / d_i$$

$$d_e = 0.1801$$

3) Velocidad Másica

$$Ga = M' / A_m$$

$$Ga = 87639.87 \frac{\text{lb}}{\text{hr-ft}^2}$$

Anulo

4) A $T_c = 595.5^\circ\text{F}$

$$\mu = 20 \text{ cp} = \frac{48.4 \text{ lb}}{\text{lb-hr}}$$

$$Re=129558$$

$$C' = 0.67 \frac{\text{Btu}}{1\text{b}^\circ\text{F}}$$

$$K=0.0558$$

5) Obtener J_h

5) Cálculo de Reynold

$$J_h = h_i d_i (U_c/K)^{1/3} (U/U_w)^{-0.14}$$

$$Re = d_m G_a / \mu'$$

$$J_h = 310 \text{ (Curva de Sieder y Tate)}$$

6) Evaluar

6) Obtener: J'_h

$$\underline{h_i}$$

$$(\mu/\mu_w)^{0.14} = J'_h (k/d_i) (\mu_c/k)^{1/3}$$

$$J'_h = 7.5 \text{ (Curva de Sieder y Tate)}$$

$$\underline{h_i} = 1154.18$$

θ_c

$$h_{i0} = h_i d_i / d_o = 1002.39$$

Coeficiente del total limpio:

$$U_c = h_{i0} h_o / (h_{i0} + h_o) = 18.84$$

7) Resistencia de ensuciamiento

$$= 0.0010 \text{ hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} / \text{btu}$$

8) Coeficiente de transmisión sucio = U_s

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{U_c} + r_m} = \frac{1}{\frac{1}{1284} + 0.00215} = 18.11$$

9) Superficie de intercambio

$$A_m = \frac{Q}{U_m \text{LMTD}} = 70.65 \text{ ft}^2$$

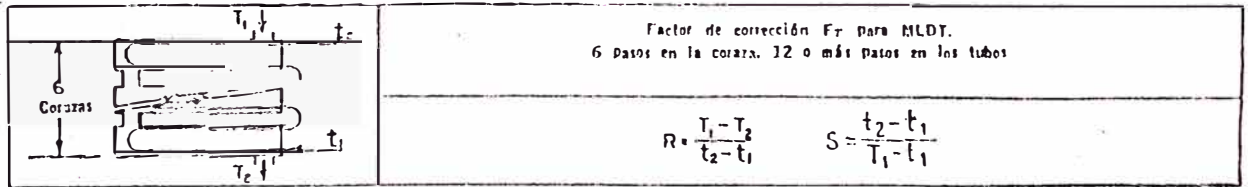
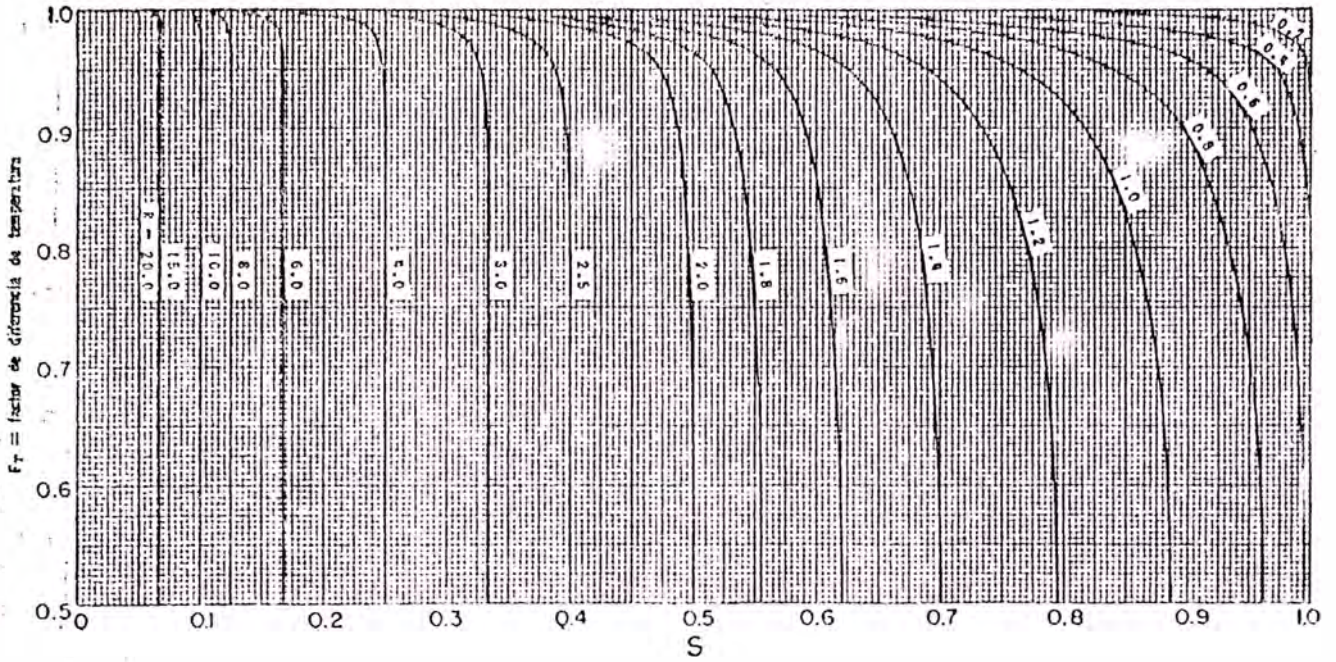


Fig. 23. Factores de corrección MLDT para intercambiadores 6-12. (Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2a. ed., New York, 1949)

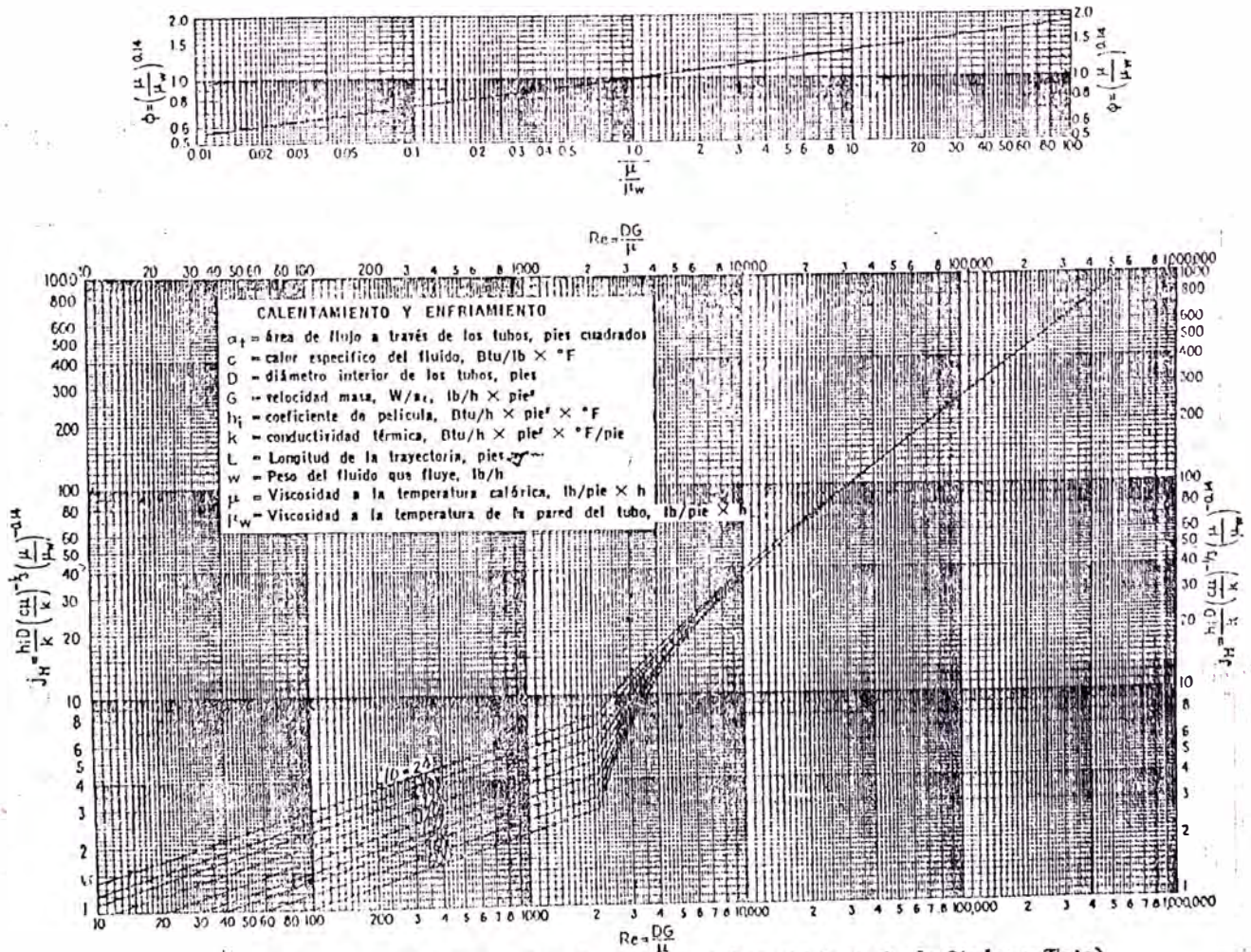


FIG. 24. Curva de transferencia de calor lado de tubos. (Adaptada de Sieder y Tatts)

10) Determinación del número de horquillas

a) Superficie de intercambio de cada horquilla

$$a_w = 2(0.1983)(12) = 14.98 \text{ ft}^2$$

b) Número de horquillas

$$n = A_w / a_w \rightarrow n = 5 \text{ horquillas}$$

11) Cálculo de la caída de presión

a) Tubo interior (agua)

$$(1) \text{Nr} = 129558$$

(2) Longitud total de la trayectoria

$$L = 2n1 = 150 \text{ ft}$$

$$(3) f_t = 0.0035 + \frac{0.264}{\text{---}}$$

$$(DG/\mu)^{0.42}$$

$$(4) P_t = f_t \cdot G_e^2 L / (1875(10)^{1.2} d_1 \text{Gr} \cdot \text{Sp} \cdot t) = 6 \text{ Lb/Pul}^2$$

$$P_e (\text{Máx.}) = 10 \text{ Lb/pul}^2$$

En el ánulo (Residuo asfáltico)

$$(1) d_w = D_1 - D_2 = 0.0574$$

$$(2) \text{Re} = 1039$$

$$(3) \text{Fa} = 16/\text{Re} = 0.0154$$

$$(4) P_m = \frac{r G_e^2}{\text{---}} (\text{Fa} \cdot 1 / (d_w^2 \cdot a))$$

$$1.875(10)^{1.2} \text{Gr} \cdot \text{Sp}$$

$$P_m = 6.51 \text{ psia}$$

$$P_m = 10 \text{ Lb/pul}^2$$

DISEÑO DE VALVULA

$$AP = 14.7 \text{ PSIA}$$

$$P_1 = 29.4 \text{ PSIA}$$

$$P_2 = 14.7 \text{ PSIA}$$

$$G_{air} = 1$$

$$T = 520^\circ \text{R}$$

$$Q = 116160 \frac{\text{pie}^3 \text{ Standard}}{\text{hr}}$$

Utilizando fórmulas propuestas por "Fluids Control Institute", para gases:

$$C_v = \frac{Q}{963} \sqrt{\frac{G_r}{(P_1 - P_2)(P_1 + P_2)}}$$

$$C_v = \frac{116160}{963} \sqrt{\frac{1(520)}{(14.7)(44.1)}}$$

$$C_v = 108 / 0.8 = 135$$

Utilizando las tablas recomendadas por el Instituto de control de Fluidos se obtiene:

Diámetro de la válvula: $\phi = 4"$

Se usará una válvula de cierre por falla de aire (Válvula de diafragma).

DISEÑO DE MEDIDOR DE FLUJO A LA ENTRADA DEL COMPRESOR

El flujo debe ser de 100 pie³/min por tonelada de carga.
Se tiene 19.36 toneladas de carga.

El caudal necesario de aire será: 1936 pie³/min

$$Q = 1936(60) = 116160 \text{ pie}^3/\text{hr}$$

Colocaremos el medidor en la tubería de succión donde:

$$P = 14.7 \text{ Psia} \quad T = 15^\circ\text{C}$$

Utilizaremos el método y tablas de:

"Natural Gasoline Supply men's Association"

Medidor de gas

En la medida de flujo de gas por placa de orificio, las tablas contienen datos de la presión estática y diferencial. De estos datos la cantidad de gas medida es determinada por la siguiente ecuación:

$$Q = C' \sqrt{h_w p_f}$$

$$\text{Donde: } C' = F_b F_{pb} F_{tb} F_g F_{tr}$$

Siendo:

h_w = Diferencial de presión en pulgadas de agua

F_b = Factor de Flujo de Orificio

F_{pb} = Factor base de presión

F_{tb} = Factor base de temperatura

F_g = Factor de gravedad específica

F_{tr} = Factor de temperatura fluyente

Para nuestra condiciones de presión y temperatura:

$$F_{pb} = 1 \quad F_g = 1 \quad F_{tr} = 1 \quad F_{tb} = 1$$

Todos estos datos se obtienen en las tablas que aquí se muestran:

La ecuación queda reducida a:

$$Q = F_b \sqrt{h_w P_r}$$

Utilizaremos un $\phi = 6"$ SCH 40 $\rightarrow \phi_{interior} = 6.055"$

$$Q_{máximo} = F_b \sqrt{14.7 h_w}$$

Por seguridad:

$$Q_{máximo} = Q / 0.7 = 116160 / 0.7 \rightarrow 43281 = F_b \sqrt{h_w}$$

Por condiciones técnicas:

Primera condición:

$$20" \leq h_w \leq 200"$$

$$\text{Por lo tanto: } 3600 \leq F_b \leq 9678$$

Con estos datos se va a la tabla y se obtiene:

$$3.73 \leq d \leq 4.5$$

Segunda condición:

$$0.25 \leq \frac{d}{D} \leq 0.65 \rightarrow 0.25 \leq \frac{d}{6.065} \leq 0.65$$

$$1.51 \leq d \leq 3.93$$

Se aproxima al valor máximo en la tabla:

$$d = 3.875 \text{ por lo tanto } F_b = 3361.5$$

$$\text{Reemplazando: } 43281 = 3361.5 \sqrt{h_w} \rightarrow h_w = 165.8"$$

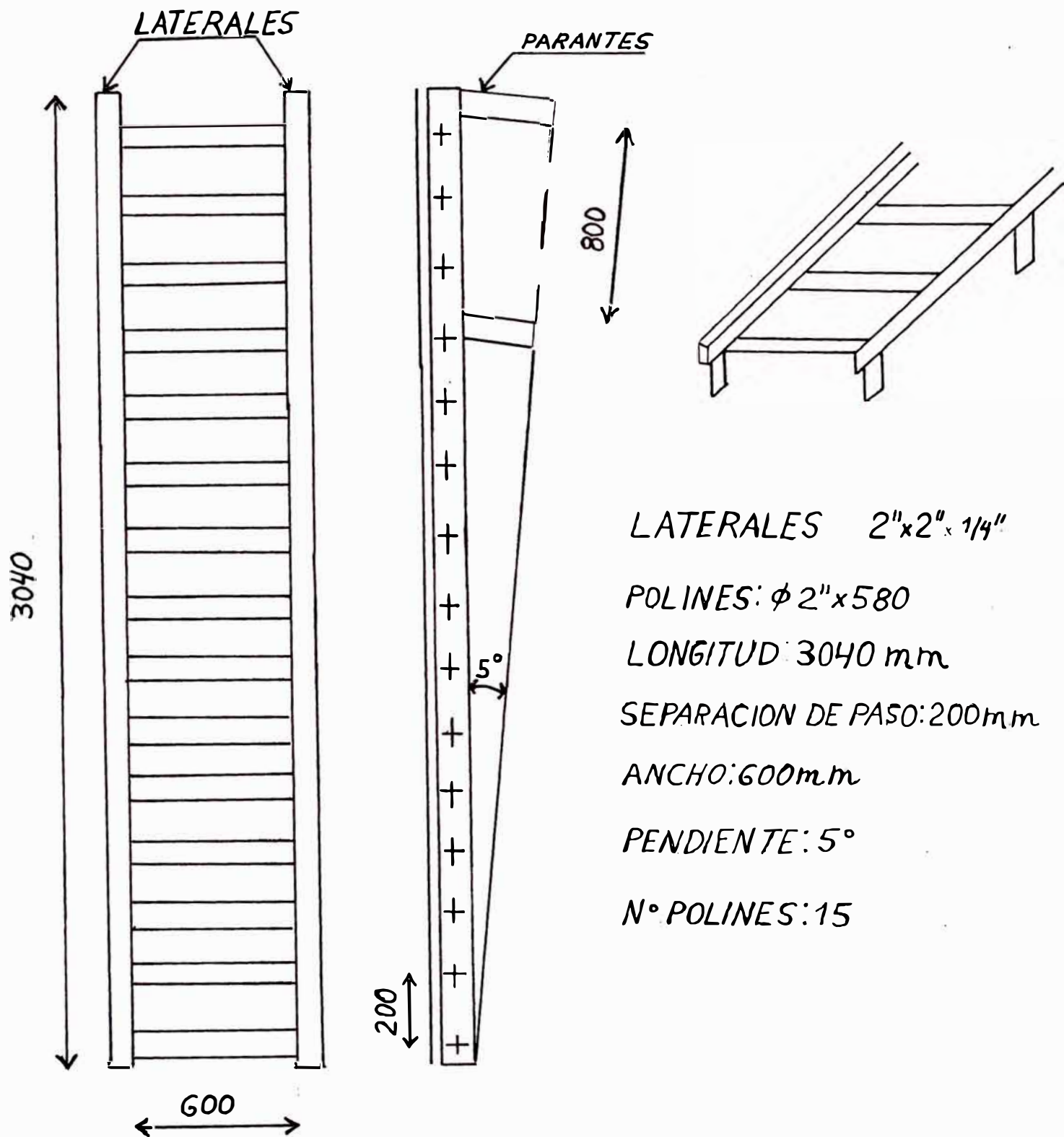
El medidor de diferencial de presión marcará en una escala de 0 al 10 un valor "m" y se reemplazará en la siguiente ecuación:

$$Q = 3361.5 [0.1 R^{0.5}(m)] \text{ Siendo } R = 165.8"$$

$$Q = 4328m$$

En nuestro caso "m" debe ser siete ya que reemplazando en la ecuación resulta:

$$Q = 4328(7) = 30296$$



LATERALES 2"x2"x 1/4"

POLINES: ϕ 2"x580

LONGITUD: 3040 mm

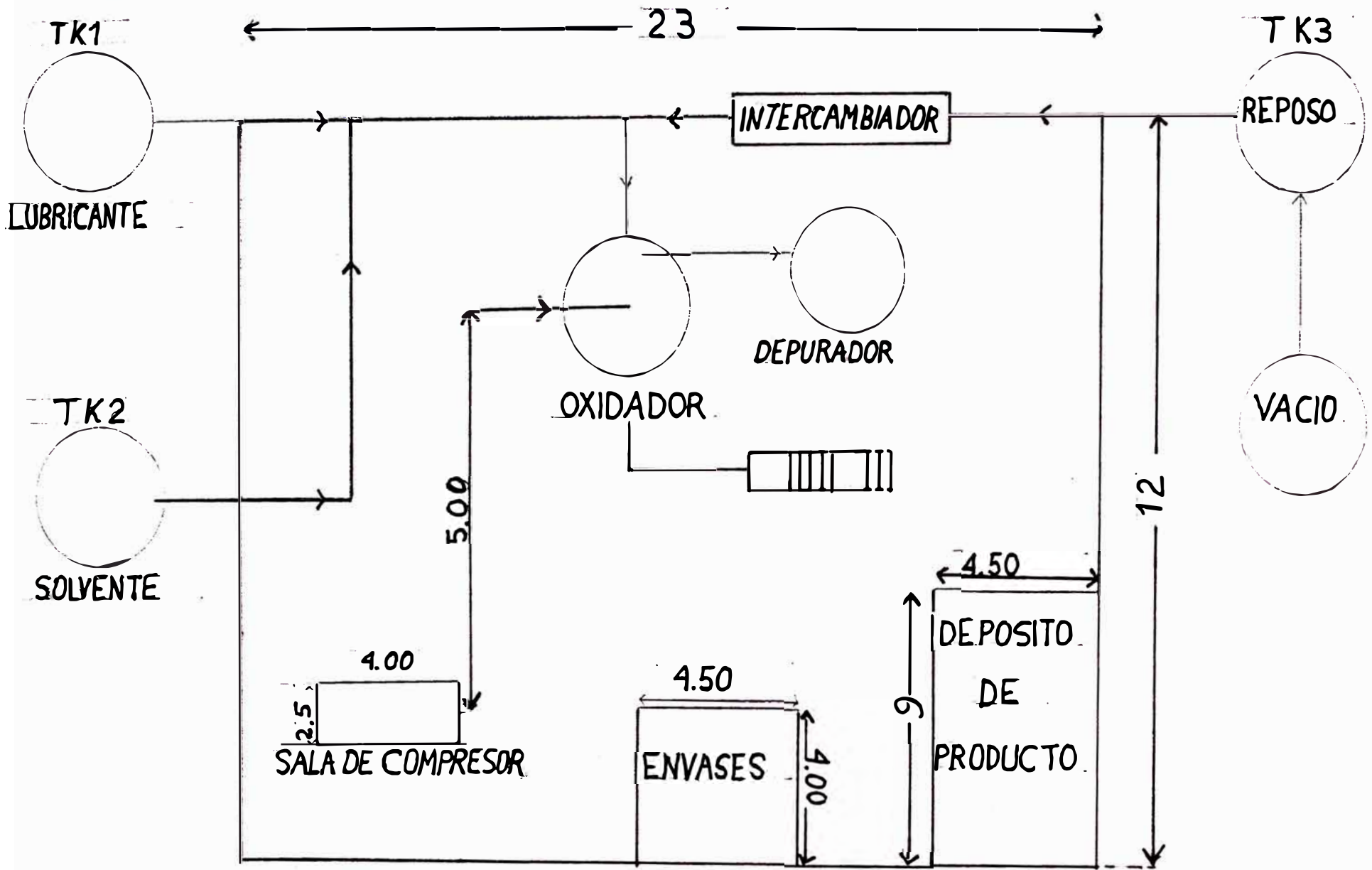
SEPARACION DE PASO: 200mm

ANCHO: 600mm

PENDIENTE: 5°

N° POLINES: 15

FIGURA VII.1



DISTRIBUCION DE LA PLANTA
 FIGURA 6

SE REALIZO ENSAYOS A DOS MUESTRAS

ASFALTO SOLIDO INDUSTRIAL :PEN-90

ASFALTO LIQUIDO INDUSTRIAL :ALI 200

Ensayos de Laboratorio

Haré una descripción de los ensayos de laboratorio que se realizó.

Determinación del punto de inflamación y encendido mediante la copa abierta CLEVELAND.
(CLEVELAND OPEN CUP).

Método Standard ASTM D - 92

Este standard es usado para medir y describir las propiedades de los materiales, productos y otros compuestos en respuesta al calor y la llama, bajo condiciones controladas de laboratorio.

En éste caso se utilizó asfalto líquido (ALI/200).

Resumen del Método

La copa de prueba se llena a un nivel específico con la muestra. La temperatura de la muestra se incrementará al principio y luego suavemente a un régimen constante, a medida que el punto de inflamación se aproxima a intervalos especificados una pequeña llama de prueba se pasa a través de la copa.

La temperatura más baja a la cual los vapores sobre la superficie del líquido se inflaman por efecto de la llama, se le conoce como punto de inflamación.

Para determinar el punto de encendido, la prueba se continúa hasta que el asfalto arda por lo menos cinco segundos.

La presión del trabajo fué de 760 mm Hg.

Se realizaron dos pruebas comparativas para determinar tanto el punto flash como el de combustión, obteniéndose los siguientes resultados:

En el primer caso:

Punto de inflamación : 38 °C

Punto de combustión : 39.5 °C

En la segunda prueba:

Punto de inflamación : 38.5 °C

Punto de combustión : 40°C

También se realizó la prueba a un asfalto líquido y a un asfalto sólido industrial y se obtuvo los siguientes resultados:

Punto de inflamación : 267°C

Punto de combustión : 269°C

VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL

ASTM D - 88

ALCANCE : Establecer procedimientos empíricos para la determinación de viscosidades Saybolt/Furol a temperaturas especificadas. En éste caso por recomendación dada en los boletines de PetroPerú, se hizo la prueba de viscosidad a 50°C 60 °C.

Resumen

El tiempo de flujo en segundos de una muestra de 60ml., a través de un orificio calibrado, se mide en condiciones cuidadosamente controladas (t°F).

El tiempo se corrige con un factor de orificio y se reporta como la viscosidad de la muestra a la temperatura de ensayo.

Significancia

Este método es útil para la caracterización de ciertos materiales bituminosos, como un elemento para establecer la uniformidad de embarques y fuentes de suministro.

DEFINICIONES

Viscosidad Saybolt Furol

Es el tiempo corregido de flujo, en segundos de 60 ml. de una muestra que fluye a través de un orificio Furol calibrado, bajo condiciones especificadas.

El valor de la viscosidad se reporta en segundos Saybolt Furol, abreviado como SFS (t°F).

FUROL

Es un acrónimo de Fuel and Road Oils.

Resultados

La viscosidad Saybolt Furol sólo fue analizada para asfalto líquido (ALI - 200) y se obtuvieron los siguientes resultados:

A 50 ° C ≡ 122 ° F

Primera prueba : 608 segundos

Segunda prueba : 610 segundos

A 60 ° C ≡ 140 ° F

Primera prueba : 166 segundos

Segunda prueba : 167 segundos

Promedios

A 50 ° C : 609 segundos

A 60 ° C : 166.5 segundos

PENETRACION DE MATERIALES BITUMINOSOS

ASTM D-5

ALCANCE

Este método cubre la determinación de la penetración de materiales semisólidos y bituminosos.

Los materiales que tengan penetraciones debajo de 350 pueden ser aprobados por los equipos y procedimientos estándares directo

RESUMEN

La muestra es fundida y enfriada bajo condiciones controladas. La penetración es medida con un penetrómetro, por medio del cual una aguja estándar es aplicada a la muestra bajo condiciones específicas.

DEFINICIONPenetración

Es la consistencia de un material bituminoso expresado con la distancia en décimas de milímetro, que una aguja penetra verticalmente una muestra de material bajo condiciones conocidas de carga, tiempo y temperatura.

Aparato de Penetración

Será aceptable como cualquier aparato que permita al fijador de agua (Spindle), moverse verticalmente sin fricción medible y que sea capaz de indicar la profundidad de penetración con aproximación de 0.1mm. El peso del Spindle será de 47.5+0.05 g.

El peso total de la aguja y el Spindle ensamblados será de 50+0.05 g. Conjuntos con pesos de 50+0.05 g serán también provistos para cargas totales de 100 gramos.

El Spindle de pistón estará aproximadamente a 90 grados de la superficie de prueba.

Condiciones de Prueba

Se trabaja a 25°C, con 100 gramos de peso (de carga total), durante cinco segundos.

Resultados

Se realizaron tres determinaciones en puntos sobre la superficie de la muestra, de acuerdo a las distancias recomendadas por el manual ASTM.

La prueba se realizó a un asfalto sólido industrial y los resultados fueron:

	Décimas de milímetro
Primera prueba	89
Segunda prueba	91
Tercera prueba	92
Cuarta prueba	90.67

DUCTIBILIDAD DE MATERIALES**DUCTIBILIDAD (ASTM D-113)****ALCANCE**

La ductibilidad de un material bituminoso es medida por la distancia a la cual se elongará antes de romperse, cuando los dos extremos de una briqueta de un material son tratados aparte, a la velocidad y temperaturas especificadas.

El trabajo se realizará a una temperatura de 25±0.5°C y una velocidad de 5 cm/min.

RESUMEN DEL METODO
Moldeo de la muestra

Se calienta la muestra con cuidado para prevenir un sobrecalentamiento local, hasta que sea lo suficientemente fluída para trasegarse.

Luego de una completa agitación, colocar la muestra en el molde.

Armar el molde sobre una base de bronce y para prevenir que el material de prueba se adhiera, amalgamos completamente la superficie de la base de bronce y las superficies laterales del molde.

Al llenar el molde se coloca mediante una corriente delgada con un movimiento hacia adelante y hacia atrás, de extremo a extremo del molde hasta que este completamente lleno con un ligero exceso.

Se deja enfriar por 35 minutos y luego se coloca en el baño de agua a la temperatura especificada por 30 minutos.

Luego se corta el exceso de la muestra con una espátula caliente para que el molde este lleno justo a su nivel.

PRUEBA

Se enganchan los anillos de cada extremo de los sujetadores en los ganchos o pines de la máquina de prueba y se jalan los sujetadores en dirección opuesta a una velocidad uniforme según las especificaciones hasta que se produzca la ruptura de la muestra. Se mide la distancia en centímetros que recorren los sujetadores hasta producir la ruptura.

Mientras se realiza la prueba, el agua en el baño de prueba debe cubrir la muestra tanto encima como por debajo de ella al menos 2.5cm y debe mantenerse dentro de (0.5°C) de la temperatura especificada.

Resultados

Primera prueba	6 cm
Segunda prueba	7 cm
Tercera prueba	6 cm
Cuarta prueba	6.33 cm

PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ASTM D-36)

El ablandamiento de los materiales bituminosos generalmente no tiene lugar a una temperatura definida. Cuando la temperatura se incrementa, gradual e imperceptiblemente cambian de la fragilidad o excesiva delgadez a un material más suave y líquido viscoso.

Por esta razón la determinación del punto de ablandamiento se debe realizar mediante el ensayo arbitrario de anillo y bola.

Preparación de la muestra

Se derrite la muestra y se agita completamente, evitando la formación de burbújas de aire en la masa.

Se vierte la mezcla derretida dentro del anillo. Se apoya el anillo mientras se esta llenando en un plato metálico el cual ha sido amalgamado para evitar que el material bituminoso se adhiera. Después de enfriar una hora, se corta el exceso de material limpiando con un cuchillo ligeramente calentado.

PROCEDIMIENTO

Se llena un recipiente con agua destilada fría. Se suspende el anillo que contiene la muestra en el agua de tal manera que la superficie más baja del anillo este 1" por encima del fondo del recipiente de vidrio y su superficie superior 2" debajo de la superficie del agua.

Se suspende un termómetro de tal manera que el bulbo este al nivel del fondo del anillo y a una distancia horizontal de 0.25".

Se coloca con una pinza la bola en el centro de la superficie superior del asfalto en el anillo.

Se empieza a calentar el baño hasta que llegue un momento en que el asfalto toque el fondo del recipiente. Se tomará la temperatura y ésta será el punto de ablandamiento.

RESULTADOS

Primera prueba	52°C
Segunda prueba	51°C
Tercera prueba	52.2°C
Promedio	52°C