

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA



**Obtención de Asfaltos Mejorados para Carpe-
tas Asfálticas a Partir de Bases Residuales
del Petróleo**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a :

HIRAM RODRIGUEZ PEREZ

México, D. F.

1973

M-165659



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CARIÑOSAMENTE,

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS,

EN ESPECIAL A RAFAIN

CON AMOR A

CRUZ DEL CARMEN DIAZ G.

A LA FAMILIA

PADILLA RAMIREZ

AL INGENIERO

ABENAMAR RICARDEZ B.

A MI JURADO, EN ESPECIAL
AL INGENIERO

ROBERTO ANDRADE C.

PRESIDENTE I.Q. Arturo López T.

VOCAL I.Q. Abenámar Ricárdez B.

SECRETARIO I.Q. Roberto Andrade C.

1er.SUPLENTE I.Q. Julio Lara H.

2do.SUPLENTE I.Q. José Guerra R.

Sitio donde se desarrolló el tema: Instituto Mexicano del
Petróleo

Nombre completo y firma del sustentante: Hiram Rodríguez
Pérez

Nombre completo y firma del asesor del tema: I.Q. Abenámar
Ricárdez B.

Nombre completo y firma del supervisor técnico: I.Q. Rafáin
Rodríguez Pérez

I N D I C E

INTRODUCCION

CAPITULO 1).- GENERALIDADES

- 1.1 ¿Qué es un Asfalto?
- 1.2 Características Físicas de los Asfaltos
- 1.3 Características Químicas de los Asfaltos
- 1.4 Propiedades Reológicas de los Asfaltos
- 1.5 Obtención de los Asfaltos
- 1.6 Tipos de Asfaltos
- 1.7 Diagramas de Flujo de la Obtención de Asfalto No.6

CAPITULO 2).- CARACTERISTICAS DE UNA CARPETA ASFALTICA

- 2.1 Constitución de un Pavimento Flexible
- 2.2 Empleos de Mezclas Asfálticas en la Construcción de Carpetas.
- 2.3 Propiedades de Adherencia del Asfalto-Material Pétreo.

CAPITULO 3).- DESARROLLO DEL ASFALTO MEJORADO

- 3.1 Experimentación

CAPITULO 4).- EVALUACION DE RESULTADOS

- 4.1 Pruebas de Especificaciones de Pemex para Asfalto No.6
- 4.2 Pruebas de Adherencia
- 4.3 Pruebas de Ingeniería
- 4.4 Consideraciones Económicas

CAPITULO 5).- DISEÑO DEL EQUIPO INDUSTRIAL UTILIZADO EN LA ELABORACION DEL ASFALTO EXPERIMENTAL.

- 5.1 Diseño del Tanque Mezclador
- 5.2 Diseño del Agitador
- 5.3 Cálculo de la Bomba de Servicio
- 5.4 Datos de Especificaciones y Dibujo de los Equipos utilizados en el Sistema de Mezclado de Asfalto No.6

CAPITULO 6).- ESTUDIO ECONOMICO DE LA PRODUCCION DEL ASFALTO EXPERIMENTAL.

- 6.1 Recuperación Económica al obtener el Asfalto Experimental
- 6.2 Balance Económico
- 6.3 Costos de Fabricación
- 6.4 Gastos Generales

BIBLIOGRAFIA

I N T R O D U C C I O N

La carretera es uno de los medios por el cual se puede tener comunicado en una mejor forma todos los pueblos que -- constituyen la vida de un país. A través de las mismas es po sible acelerar el progreso de nuestro suelo patrio, ya que la comunicación es la base para el acercamiento y enlace entre los pueblos.

Muchos son los problemas que se suscitan en la cons -- trucción de una carpeta asfáltica viable y segura, entre los cuales se pueden considerar principalmente el hallar un mate rial cementante adecuado para que la carretera resista todos los fenómenos físicos, químicos y biológicos, propios del in temperismo. En nuestro país los cementantes más utilizados con ese fin son: el cemento Portland y el asfalto, siendo es te último el mas económico, razón por lo que es más usado en la construcción de carreteras.

Es de mencionarse también que en el diseño de una carpeta asfáltica se presenta el problema ocasionado por el tipo de material pétreo que se utiliza en la construcción de la misma.

El objetivo de la tesis es en primer término tratar de mejorar las características y comportamiento de los asfaltos de consumo nacional cuando intervienen en el uso mencionado.

El mejoramiento de las características se llevará a cabo mediante formulaciones a base de mezclas de extractos aromáticos pesados (subproducto del tratamiento con furfural que normalmente se aplica a los aceites lubricantes) y de residuos asfálticos obtenidos a partir de una destilación al vacío o extracción con solventes de residuos del petróleo que a su vez se derivan de la destilación primaria de aceites de petróleo crudo.

Otra de las finalidades de esta tesis es poder aplicar en parte los conocimientos adquiridos en la Facultad de Química y, por último, poder adquirir a través del presente estudio el título de Ingeniero Químico.

C A P I T U L O I

GENERALIDADES

1.1 ¿Qué es un Asfalto?

La palabra asfalto proviene del griego asfaltos-asfaltón, cuyo significado es cementar, asegurar. Es uno de los materiales utilizados desde la antigüedad para recubrimientos como protección contra el agua.

Los asfaltos son mezclas naturales del petróleo o derivados del mismo, formados por hidrocarburos de elevados puntos de ebullición. La característica principal del asfalto es ser un material muy adherente, razón por la cual es utilizado en diferentes formas.

El asfalto está constituido por una dispersión de tipo coloidal. Los coloides están formados por grupos de moléculas de hidrocarburos mas pesados rodeados por hidrocarburos mas ligeros, sin que exista una separación franca de ambos constituyentes, por el contrario existirá una transición gradual. Estos componentes forman una mezcla compleja que además de -- contener hidrocarburos contienen derivados azufrosos de nitrógeno y oxígeno que están frecuentemente asociados con los cons

tituyentes minerales en diferentes cantidades.

Asfalto es un término aplicado también a una especie de bitúmen de ciertas sustancias pirogenosas de color oscuro. A su vez se considera el bitúmen como un término genérico aplicado a sustancias nativas de color variable, desde oscuro a color café pardo, con alta dureza y volatilidad, está formado de hidrocarburos pesados de carácter aromático en su mayoría y en parte de ligeros, algunas veces asociados con material mineral, constituyentes no-minerales que son fácilmente fusibles y solubles en solventes orgánicos como CS_2 (sulfuro de carbono).

A menudo se confunde el término bitúmen con el asfalto - por su constitución de mezclas de hidrocarburos; es difícil diferenciarlos. La American Society of Testing Materials (ASTM) los distingue definiéndolos en forma distinta.

Una clasificación general de los asfaltos es:

a) Asfaltos Artificiales

Estos asfaltos están constituídos exclusivamente por material bituminoso, de los cuales se tienen:

a-1 Los extraídos del petróleo; obtenidos físicamente por destilación, extracción, etc; o química -

mente producido por oxidación.

a-2 Los derivados también del petróleo, pero que son formados por reacción de condensación complicada durante la desintegración del petróleo.

b) Asfaltos Naturales.

b-1 Que contienen impurezas como: materias inorgánicas insolubles en CS₂.

b-2 Asfaltitas que no contienen impurezas o materias inorgánicas.

b-2-1 Bitúmen sólido; Gilsonita, Grahamita

b-2-2 Asfaltos pirobituminosos; Elateritas, Albertitas, Impsonitas.

1.2 Características Físicas de los Asfaltos.

Generalmente le son determinadas a los asfaltos utilizados en la construcción de carreteras las siguientes características físicas, a saber:

- a) Penetración o dureza del asfalto
- b) Viscosidad
- c) Densidad o peso específico
- d) Ductilidad
- e) Solubilidad en CS₂
- f) Punto de inflamación
- g) Deformación y cohesión de la mezcla asfalto-material pétreo.

- h) Pérdida por calentamiento
- i) Adherencia de mezcla asfalto-material pétreo.

De todas estas características, algunas son mas importantes que otras en la especificación de los asfaltos.

1.3 Características Químicas de los Asfaltos.

Químicamente los asfaltos están constituidos por hidrocarburos pesados, derivados del azufre, nitrógeno, oxígeno y materiales minerales, conteniéndolos en grupos de las siguientes formas básicas:

- a) Alifáticos
- b) Cicloparafinas
- c) Aromáticos
- d) Olefinicos

Según sea el origen del petróleo crudo y el método de producción del asfalto se obtienen combinaciones de esas cuatro formas básicas.

Los constituyentes asfálticos se extraen por medio de solvencia selectiva. Así se distinguen entre los constituyentes orgánicos los siguientes:

- 1) Maltenos o Petrolenos; sustancias solubles en hidrocarburos saturados de bajo peso molecular.

- 2) Resinas; fracción de los maltenos que son adsorbidas en tierras fuller, alúmina activada o sílica gel.
- 3) Aceites; fracción de los maltenos que no se adsorben en las sustancias mencionadas en (2).
- 4) Asfaltenos compuestos insolubles en hidrocarburos saturados de bajo peso molecular.
- 5) Carbenos; sustancias insolubles en CCl_4 , pero solubles en CS_2 .
- 6) Carboides; compuestos insolubles en CS_2 .

Como hemos mencionado anteriormente, los asfaltos son - dispersiones coloidales de partículas submicroscópicas (asfaltenos) que constituyen la fase dispersa en un medio de dispersión formado por el aceite; estas partículas son peptizadas en mayor o menor grado por las resinas que vienen a ser coloides peptizantes. Las resinas adsorbidas y los asfaltos reciben el nombre de micelas.

Características Físicas y Químicas de los Grupos

Asfálticos.-

Asfaltenos

Los asfaltenos van de color café oscuro a negro, se presentan en forma de polvo, soluble en solventes polares, cloroformo, CS_2 , etc.; insolubles en fracciones del petró

leo (kerosina). Su peso molecular oscila entre 1500 a 140,000 aproximadamente. Están constituidos por anillos aromáticos condensados con algunas cadenas laterales. - Con una relación de C:H variable desde 10 : 1 hasta - - 12 : 1. Conteniendo menos hidrógeno que las resinas. Esta aromatización es la responsable de la dureza de los asfaltenos y la de los asfaltos.

Los asfaltenos al ser sulfonados con ácido sulfúrico forman productos que son levementes solubles en agua. Por otro lado, pueden ser hidrogenados y formar resinas y posteriormente aceites, también pueden ser deshidrogenados para producir carbenos y carboides.

Resinas

Las resinas son compuestos que varían de café claro a café oscuro, semisólidos, con alta adherencia, buena ductilidad, bajo punto de fusión, a bajas temperaturas es quebradizo, poseen alta o baja viscosidad dependiendo de su origen y de su procesamiento. Junto con -- los asfaltenos y aceites dan plasticidad a los asfaltos.

Están formados por sustancias polares que los hacen adherirse a los asfaltenos. Su estructura es en cierta

forma similar a los asfaltenos, pero la relación C : H varía desde 8:1 hasta 10:1 aproximadamente.

Las resinas al ser deshidrogenadas se convierten en asfaltenos.

Aceites

Los aceites son semejantes a los aceites lubricantes pesados. El contenido de aceite afecta la dureza o suavidad de los asfaltos. Estas sustancias tienen un peso molecular aproximado de 450 - 600. Son más estables a la oxidación que las resinas y los asfaltenos, y por la acción de los agentes del intemperismo se transforman primero en resinas y posteriormente en asfaltenos, obteniéndose por esto un asfalto duro y quebradizo.

El porcentaje de cada uno de los grupos asfálticos en la composición del asfalto depende del petróleo crudo que se procesa y del método de obtención.

1.4 Propiedades Reológicas de los Asfaltos.

El comportamiento reológico del asfalto depende de:

- 1) La finura o grosura de las partículas de los asfaltenos que contiene el asfalto. Esto determina la fa

cilidad con que las partículas son peptizadas por las resinas.

Alto contenido de resinas y bajo contenido de asfaltenos en aceites aromáticos resulta ser un asfalto tipo-sol.

Bajo contenido de resinas y de asfaltenos en aceite parafínicos producen un asfalto tipo-Gel.

- 2) La naturaleza y contenido de resina.
- 3) Naturaleza y contenido de aceite o medio dispersante, el cual puede ser parafínico, nafténico o nafténico-aromático.

1.5 Obtención de los Asfaltos.

Los asfaltos pueden obtenerse básicamente por destilación del petróleo crudo o bien por extracción con solventes de algún residuo del mismo.

Cuando el asfalto se obtiene por destilación del crudo sigue el siguiente proceso:

El crudo proveniente de los pozos, libre de gases, es calentado y se le agrega agua de lavado para entrar a la temperatura de 80-90°C y de 6.5 - 8.0 kg/cm² de presión a una Desala-

dora, donde se le extrae la sal que acompaña al crudo, ya libre de sal se precalienta en un intercambiador de calor elevando su temperatura a 220-240°C, para entrar a 8-9 kg/cm² de presión a un calentador donde se calienta a 310-350°C, para pasar a una torre fraccionadora con las condiciones de 335°C en el fondo y 135°C en el domo y una presión de 1.3 kg/cm². El crudo en esta fraccionadora se fracciona en Gasolina (vapor condensantes), nafta pesada, kerósina, diesel ligero, diesel pesado y residuos primarios. El fraccionamiento se hace en aprovechamiento a sus puntos de ebullición distinto, siendo mayor desde los residuos a las gasolinas. A su vez la gasolina se le separa la gasolina pesada (nafta ligera) y gas seco.

El residuo primario obtenido en los fondos de la torre fraccionadora intercambia calor con el crudo de alimentación de la misma, sufre otro calentamiento (de 265 a 397°C) al inyectársele vapor para llevar la carga a la temperatura de -- 397°C, entra a la torre de destilación donde a las condiciones de 386°C y 44.9 pulg. de agua en el fondo y 120°C, 35.6 pulg. de agua en el domo, se separan los gasóleos ligeros (340 - 537°C), gasoleos pesados (380 - 537°C) y en el fondo el residuo de la destilación. Este residuo cuando el crudo es de ba-

se asfáltica se obtiene asfalto No.6, adecuado para carreteras.

El residuo de la destilación al vacío se le puede extraer aún, cierta cantidad de gasóleo ligero y pesado con algún hidrocarburo ligero, obteniéndose a su vez un residuo asfáltico duro.

La otra forma de obtención del asfalto es precisamente en base al proceso de extracción del residuo, el cual se lleva a cabo de la siguiente manera:

El residuo de la planta de alto vacío a la temperatura de 110-150°C y el propano a la de 150-175°C son cargados a la Torre de Producto Ligero; torre a alta presión (41.5 kg/cm²). El reflujo y la acción de serpentines en el domo de la torre hace que los materiales resinosos precipiten. La fracción ligera la cual es deseada de separar por extracción con propano fluye por el domo a la temperatura de 95°C a un primer evaporador de solución ligera en la cual el propano es vaporizado con vapor de baja presión y regresado a la parte de alta presión del sistema. La solución sobrante es pasada bajo control de nivel a un segundo evaporador de solución ligera, donde el propano adicionado es eliminado por calentamiento con vapor de

alta presión. El vapor de esta separación es conducido al sistema de alta presión. La solución resultante es pasada bajo control de nivel a una torre de vaporización instantánea - - (flash), de solución ligera, lo que sirve para vaporizar algo de propano. Este propano es vaporizado a presión media y regresado al acumulador de propano de baja presión sin recompresión. La solución sobrante es pasada a un agotador de producto ligero, donde el propano es agotado con vapor de agua cerca de presión atmosférica y temperatura de 179°C , el producto ligero resultante o desasfaltado es bombeado y enfriado a 64°C para ser almacenado.

Los fondos de la torre primaria o de Producto Ligero son pasados bajo control de flujo a la temperatura de $70-80^{\circ}\text{C}$ a la torre secundaria o de Producto Pesado, donde se hace otra extracción; por la parte superior se inyectan los fondos y por abajo el propano proveniente del acumulador de baja presión, por la parte del domo de la torre se calienta la solución con serpentines de vapor.

La mezcla de producto pesado y propano empleado en la extracción es extraído por el domo de la torre de producto pesado para pasar bajo control de presión y temperatura al primer evaporador donde se elimina con vapor de baja presión al-

go de propano, la solución restante para el segundo evaporador donde con vapor de alta presión se separa el propano sobrante. La solución resultante se conduce a una torre agotadora de Producto Pesado donde es agotado el propano con vapor a presión casi atmosférica. El producto pesado es bombeado para ser enfriado y almacenado.

Los fondos de la torre secundaria bajo control de flujo a 50-60°C se pasa a un horno de asfalto en la cual el propano es vaporizado y la mezcla resultante es pasada a una torre de vaporización instantánea (flash) donde el propano es eliminado y recirculado al sistema de presión media. La solución restante de esta vaporización es conducida a la torre agotadora de asfalto en la que el propano es agotado con vapor. El asfalto resultante es bombeado y enfriado para la planta de asfalto y otra parte es usado como combustóleo al inyectársele un diluyente. Los vapores de baja presión conteniendo vapor de agua y propano obtenido a partir de los tres agotadores son conducidos a un separador de vapor en la cual el agua es condensada y el vapor resultante de propano es comprimido en compresores y recirculado al sistema de presión media.

Todo el propano a partir del sistema a alta presión es condensado y recirculado al acumulador de alta presión de propano. Todo el propano del sistema de baja presión es comprimido

y recirculado al sistema de media presión. Todo el propano a partir del sistema de media presión es condensado y regresado al acumulador de baja presión.

De aquí que siempre hay propano fluyendo desde el sistema de alta y baja presión de cada uno de los equipos en lo que se recupera solvente.

De la planta desasfaltadora o planta de extracción con propano se obtiene un residuo asfáltico que constituye uno de los componentes del asfalto experimental.

El proceso para la obtención de los extractos aromáticos, que constituyen los componentes restantes de la formulación del asfalto experimental, es el siguiente:

De la planta desasfaltadora con propano el corte correspondiente al neutro pesado 95 o Producto Ligero es conducido a la planta de furfural donde se carga mezclado con furfural en una relación de 1.8 a 2.7 de furfural a neutro pesado 95 a una torre de extractora donde aún se le extrae aceites al que con furfural como solvente pasan a un separador de recuperación de furfural para obtener un refinado. Los fondos de la torre extractora se llevan a otro separador donde se recupera parte del furfural y un extracto. Este es uno de los extractos aromáticos

que componen el asfalto de investigación. Del mismo modo es - procesado el Pesado 95, sólo que con una relación de carga de 3.0 se obtiene un refinado y un extracto de la misma torre ex tractora con furfural. Ese extracto es el usado en la mezcla.

Siguiendo el mismo proceso se extrae del corte respectivo al Cilindros 650 o Producto Pesado, un refinado y un extrac to que es el último componente del asfalto experimental.

De esta manera, someramente se ha explicado como se ob- tiene el Asfalto No.6 de consumo nacional a partir de la planta preparadora de carga, y como se obtiene cada uno de los -- componentes del asfalto experimental en la Planta Desasfalta- dora con propano y la Planta de Extracción con Furfural.

1.6 Tipos de Asfaltos

Los asfaltos elaborados en la industria petrolera están clasificados por su estado físico como se encuentran:

- a) Asfaltos sólidos
- b) Asfaltos rebajados
- c) Emulsiones asfálticas

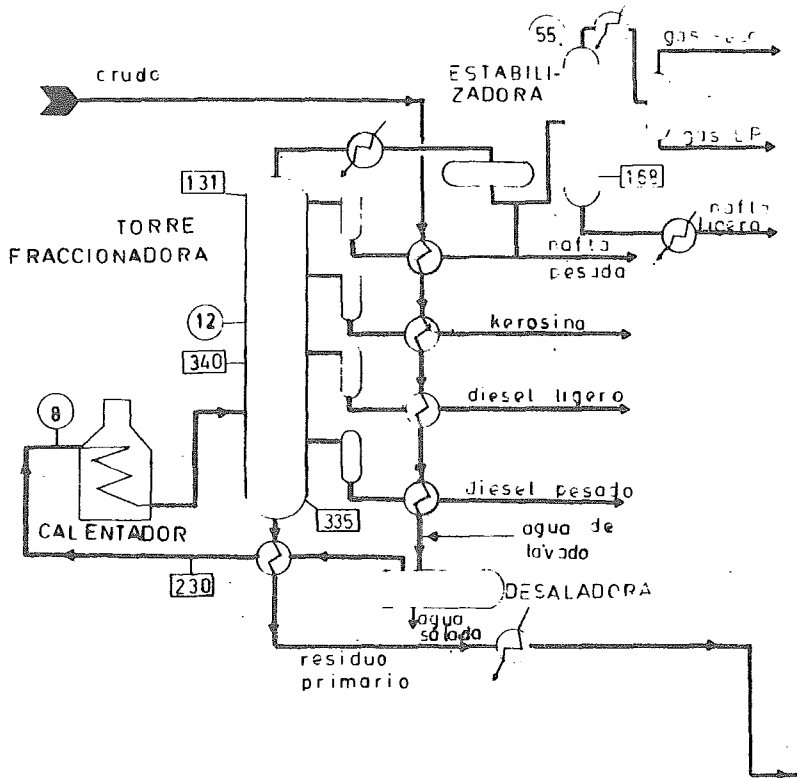
En la siguiente tabla se especifican los asfaltos sóli- dos elaborados por PEMEX.

Especificaciones	Punto de ignición, min., °C	Penetración 100/5/25 0.1 mm	Punto de ablandamiento, °C	Ductilidad 25°C, cm	Solubilidad en CS ₂ , %	Pérdida por calentamiento 50/5/163, %
Asfalto No. 3	220	180-200	37-43	100	99.5	1.0
Asfalto No. 6	230	80-100	45-52	100	99.5	1.0
Asfalto No. 7	240	60-70	48-56	100	99.5	0.5
Asfalto No. 8	260	40-50	52-60	100	99.5	0.5
Asfalto No. 9	250	30-40	55-64	100	99.5	0.5
Asfalto No.10	260	20-30	59-69	80	99.5	0.5
Asfalto No.10-2	260	10-20	65-75	5	99.5	0.5
Asfalto oxidado No.12	280	35-45	80-90	3-7	99.5	0.5
Asfalto No.14	280	10-20	100-110	2-5	99.5	0.5

En los asfaltos rebajados los tenemos de tres tipos como son:

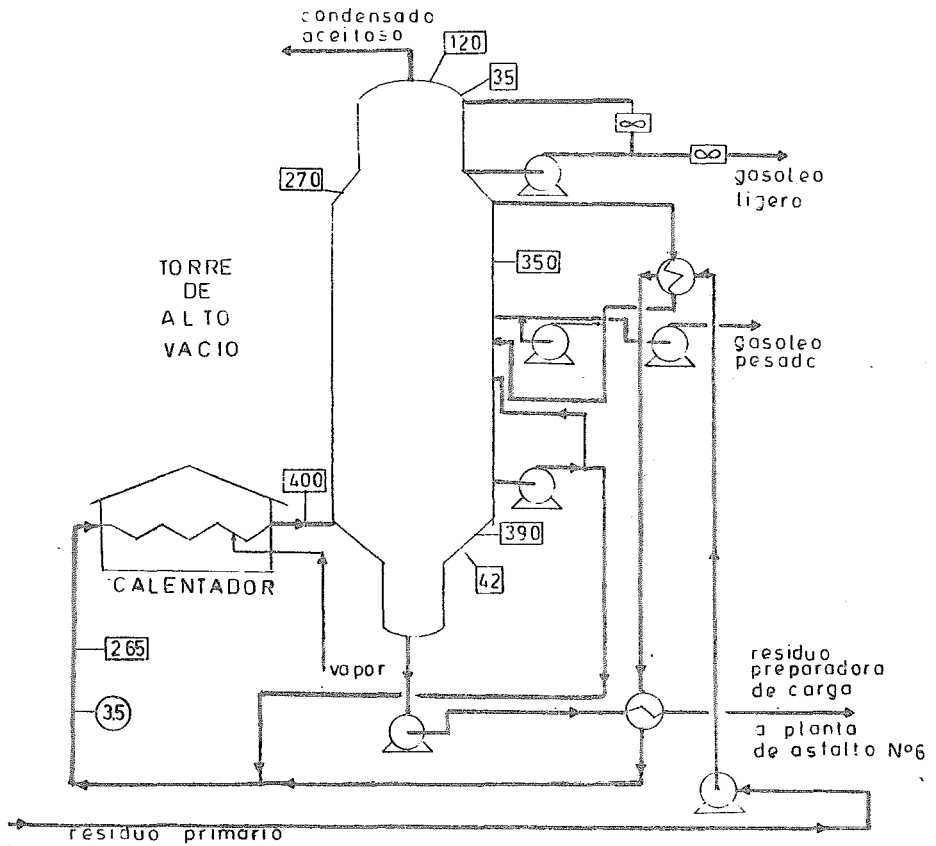
Fraguado Rápido: FR.1, FR.2, FR.3, FR.4
 Fraguado Medio : FM.1, FM.2, FM.3, FM.4
 Fraguado Lento : FL.1, FL.2, FL.3, FL.4

Las especificaciones de estos asfaltos no son de interés para nuestro estudio; - así como las emulsiones asfálticas son de Fraguado Rápido y Fraguado Lento, cuyas especificaciones tampoco son de interés en nuestro trabajo.



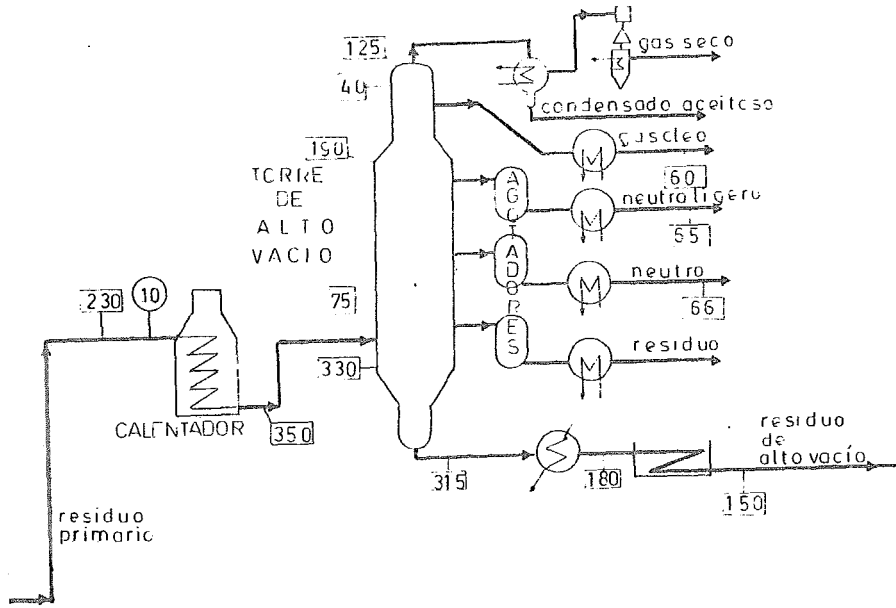
□ TEMP°C
 ○ PRESION Kg/cm²

TESIS PROFESIONAL	DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA PRIMARIA	FACULTAD DE QUIMICA
HIDAM RODRIGUEZ E		U. N. A. M.



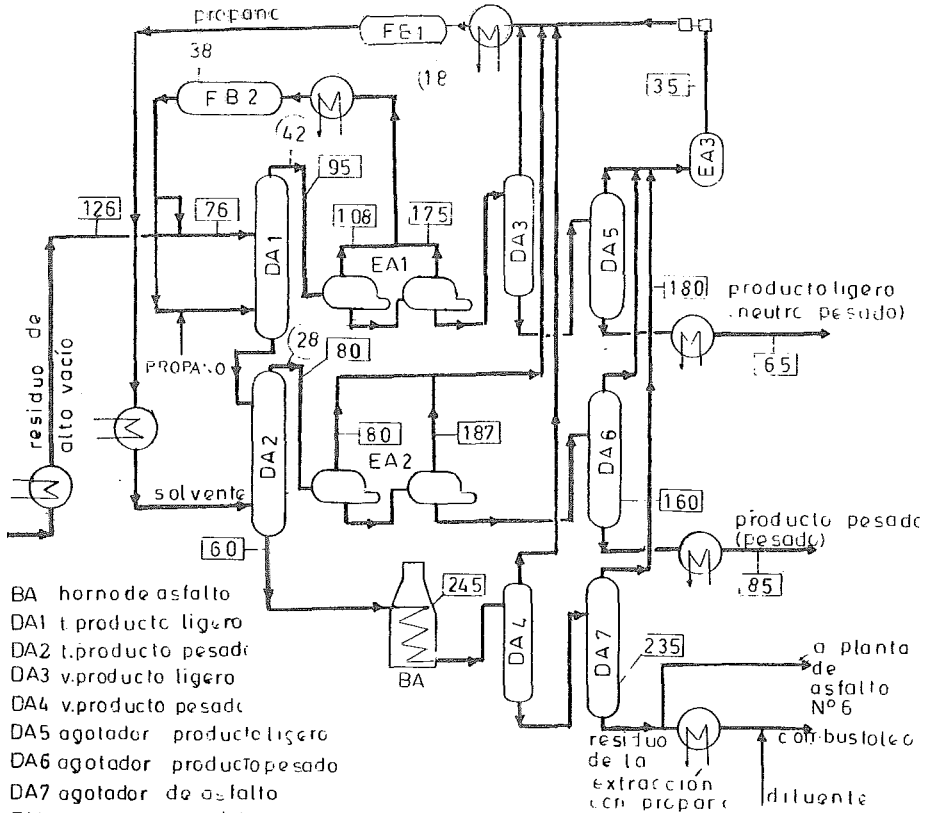
- TEMPOC
- PRESION Pulg de agua
- PRESION Kg/cm²

TESIS PROFESIONAL	DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA FRE-	FACULTAD DE QUIMICA
HIRAM ROCPIGUEZ P	PAPADOPA DE CARGA	U. N. A. M



- TEMPOC
- PRESION Kg/cm²
- PRESIGN mm de Hg

TESIS PROFESIONAL	DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE ALTO VACIO	FACULTAD DE QUIMICA
HIRAM RODRIGUEZ P.		U. N. A. M.

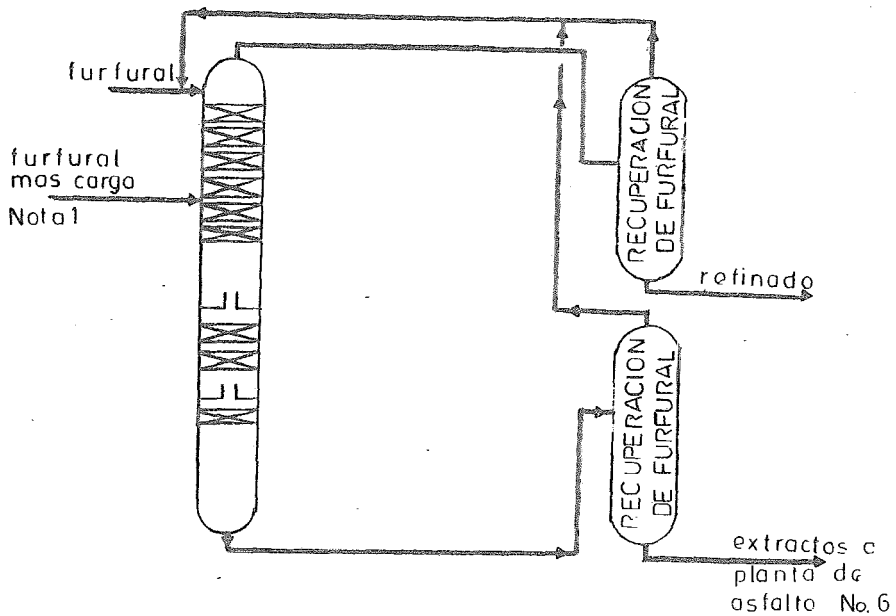


- BA horno de asfalto
- DA1 t. producto ligero
- DA2 t. producto pesado
- DA3 v. producto ligero
- DA4 v. producto pesado
- DA5 agotador producto ligero
- DA6 agotador producto pesado
- DA7 agotador de asfalto
- EA1 evaporadores sol. ligeros
- EA2 evaporadores sol. pesados
- FB1 acumulador de baja presión
- FB2 acumulador de alta presión
- EA3 condensador

TEMP °C
 PRESION Kg/cm²

TESIS PROFESIONAL HIRAM RODRIGUEZ	DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE EXTRACCION CON PROPANO	FACULTAD DE QUIMICA U. N. A. M
--------------------------------------	---	--------------------------------------

DESARROLLO



Nota:
 La carga será:
 neutro pesado 95,
 neutro 95 ó
 cilindros 650

TESIS PROFESIONAL	DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE FURFURAL	FACULTAD DE QUIMICA
HIPAM RODRIGUEZ P.		U.N.A.M.

C A P I T U L O 2

CARACTERISTICAS DE UNA CARPETA ASFALTICA

Las carreteras son de importancia vital para un país, pues son las que mantienen siempre la comunicación de los diferentes pueblos; el objeto de su construcción es el mencionado anteriormente, además también elevan el nivel económico del país.

Las carreteras o pavimentos son de dos tipos, dependiendo de la materia prima que se utiliza para su construcción: Pavimentos rígidos y flexibles. Para el primero el aglutinante empleado es cemento Portland y en el segundo es el asfalto el material Cementante.

2.1 Constitución de un Pavimento Flexible.

Los pavimentos flexibles están formados por las siguientes capas: terracería, sub-rasante, sub-base, base y carpeta asfáltica.

Terracería. Esta capa está constituida por la arcilla o piedras de partículas de dimensiones específicas y

constitución sólida. Este material es obtenido de los mismos cortes del terreno en el mismo lugar de la construcción o traídos de otro lugar según sea la resistencia del material a la compactación. La carga a soportar del material son aproximadamente 0.33 kg/cm^2 . La compactación será 90%.

Sub-rasante. Esta capa se hace con el material del mismo corte, solamente que mas rígido; es del tipo granular. Esta debe ser resistente a las cargas. Cuando no se tiene el material necesario se hacen importaciones de otros bancos de material pétreo. El espesor de la capa es de 30 cm aproximadamente con una compactación de 95%.

Sub-base. El material es gravo-arenoso cribado para obtener una granulometría dada, tal que tenga 10% de finos, que sea impermeable para proteger a la capa de filtraciones. El espesor es de 15 a 60 cm aproximadamente con una compactación de 95%.

Base. El material usado es triturado para aumentar la resistencia, el tamaño máximo de la partícula es de -- 1.5 de pulg., el fino que lleva son del orden de 4%, inertes, como el polvo obtenido en la misma trituración,

limos o arena limosa. Esta capa tendrá un espesor de 10 a 30 cm y una compactación de un 95%.

Esta capa resulta ser permeable para:

- 1) Permitir el drenaje del agua que logre filtrarse por las grietas de la carpeta.
- 2) Presentar una textura abierta y permitir que penetre el asfalto de riego de impregnación de 0.5 a 2.5 cm formando una capa de transición entre la carpeta y la base.

Carpeta Asfáltica. Es la capa superior de la estructura que forma al pavimento flexible de un camino o aeropista, tiene como función servir de superficie de rodadura a los vehículos y transmitir a las capas inferiores las presiones que, sobre ellas, éstos ejercen.

Para que se cumpla en forma adecuada su función, es necesario que la carpeta resista a las cargas que se soporten y no provoquen deformaciones perjudiciales. No deberá desintegrarse por los efectos del tránsito, tendrá que ser prácticamente impermeable y presentar una superficie uniforme de textura ligeramente áspera que la haga antiderrapante. Para satisfacer estos requisitos siempre es necesario seleccionar correctamente el tipo de material pétreo y asfáltico para la construcción de la carpeta, así como el procedimiento más

eficiente.

El material pétreo es el principal responsable de la estabilidad de la carpeta asfáltica y de su propiedad para resistir sin deformarse, las presiones que -- transmiten las llantas de los vehículos.

Para evitar la descomposición en la superficie externa de la carpeta debido a los efectos perjudiciales del interperismo, conviene que la película de asfalto sea la más gruesa posible, desde luego de un espesor compatible con la estabilidad de la carpeta, ya que en películas delgadas se aceleran los cambios en la estructura interna del asfalto que origina rigidez inconveniente en la carpeta.

2.2 Empleos de Mezclas Asfálticas en la Construcción de Carpetas.

Los asfaltos empleados en trabajos de pavimentación son de penetración comprendida entre 80-100, que es denominado como Asfalto No.6, cuyas especificaciones Pemex son:

<u>Pruebas</u>	<u>Métodos</u>	<u>Especificaciones</u>
Temperatura de inflamación, °C min.	ASTM-D-92	230
Penetración 100g/5seg/25°C, 0.1 mm.	ASTM-D-5	80/100
Temperatura de ablandamien- to, °C	ASTM-D-36	45/52
Ductilidad a 25°C, min.	ASTM-D-113	100
Solubilidad en CS ₂ , min.	ASTM-D-165	99.0
Pérdida por calentamiento 50g/163°C/5 hr. % máx.	ASTM-D-6	1.0

No es recomendable usar asfaltos de más bajo grado de penetración debido a la acción del interperismo, principal - mente a la luz solar que paulatinamente va haciendo que el as - falto se vuelva más duro, esto debido a la luz ultravioleta - que interviene como catalizador para que los aceites y resi - nas se oxiden y se transformen en asfaltenos, que es la parte sólida del asfalto. Este endurecimiento hace que la carpeta - tenga una flexibilidad incompatible con las demás capas que forman la carretera, logrando de esta forma que se agriete el pavimento, dando lugar a que el agua se filtre e inicie la -- destrucción del mismo.

Para manipular el asfalto es necesario calentarlo para bajar su viscosidad y poder mezclarlo con el material pétreo,

ambos formarán el concreto asfáltico que se llevará en caliente (135°C) al planchado.

No cabe duda que este sistema de construcción es el que da lugar a los pavimentos de mayor calidad, ya que al elevar la temperatura, en el material pétreo se elimina su humedad y además es factible por cribado seleccionar el tamaño de éste, para después dosificarlo y obtener una mezcla adecuada. La desventaja de este sistema de construcción es el costo, el cual es bastante alto. En nuestro país este método de construcción se aplica a caminos especiales. Tratando de encontrar una solución que no obligue al uso del calentamiento del material pétreo en la construcción de las carpetas, se ha recurrido a dos procedimientos para abatir la viscosidad del cemento asfáltico:

- 1) Agregar un disolvente del asfalto que actúe como vehículo para facilitar su manejo y aplicación al material pétreo, y que posteriormente se eliminará casi totalmente por evaporación.
- 2) Emulsionar el asfalto para que en forma de pequeños glóbulos se mantenga en suspensión en agua y que al contacto con el material pétreo se produzca

un rompimiento de la emulsión, depositándose el asfalto en forma de película en la superficie de - - aquél.

En el primer caso se tienen los asfaltos rebajados, muy comunes en la construcción de pavimentos. Según el tipo de di solvente que se emplee para rebajar el asfalto es el tipo de fraguado a que corresponde:

FR; Fraguado Rápido, se utiliza destilados ligeros (gasolinas no refinadas), en estos el disolvente se -- evapora en un corto tiempo debido a su volatilidad-relativa.

FM; Fraguado Medio, se utiliza kerosina no refinada, di solvente con volatilidad relativa media.

FL; Fraguado Lento, se utilizan aceites de tipo diesel como disolventes en volatilidad relativa baja, estos son los de mayor tiempo de secado.

En el empleo de los rebajados asfálticos se tienen ventajas y desventajas. Los rebajados más comunes usados en los fraguados rápidos número 3 ó 4, que tienen menor proporción de disolventes ligeros, en este caso la aplicación del riego asfáltico es seguida de inmediato por una aplicación del mate -

rial pétreo clasificado, requiriéndose que el producto asfáltico endurezca rápidamente para que fije las partículas del material pétreo.

Un problema grave en este tipo de construcción de carpeta asfáltica es eliminar la humedad que contiene el material pétreo que impedirá la adherencia perfecta del asfalto.

Asimismo, la adherencia entre la película asfáltica y el material pétreo es un problema de cargas eléctricas que originan tensiones superficiales entre las fases: agua, asfalto y material pétreo. Para que dicha adherencia sea permanente, el material pétreo deberá tener mayor afinidad por el asfalto que por el agua, de otra manera la película de asfalto se vería desalojada por el agua, desprendiéndose de los sólidos y dejando sin la debida liga las partículas de éste.

2.3 Propiedades de Adherencia del Asfalto-Material Pétreo.

La adherencia de dos cuerpos resulta de sus energías de superficie y se debe a un fenómeno de adsorción generalmente. En el caso del asfalto la intensidad de adsorción, depende de la adsorción selectiva de las resinas del asfalto que son las que establecen la unión entre la pared del material sólido y

la masa aglutinante. Para que exista esa unión firme es necesario que el contacto entre ambos sea durante un tiempo prolongado. El criterio general que existe, es que la adherencia se debe en mayor parte al aglutinante y si éste tiene una superficie hidrofílica la adherencia será mala, en el caso contrario sucederá el fenómeno opuesto.

La adherencia real debida a los fenómenos de adsorción en la interfase aglutinante-agregado, es casi siempre superior a la cohesión interna del aglutinante, a esto se debe que las rupturas se llevan a cabo frecuentemente en la masa misma del aglutinante que es la interfase. Si el sólido tiene agua en su superficie, el contacto entre éste y el asfalto dependerá de las tensiones interfaciales agua-aglutinante y aglutinante-sólido que son los que afectan el ángulo de contacto.

a) Propiedades de las Superficies e Interfases.

Las propiedades de las superficies e interfases de los materiales bituminosos, tienen una gran importancia práctica en el uso de estos materiales como aglutinantes.

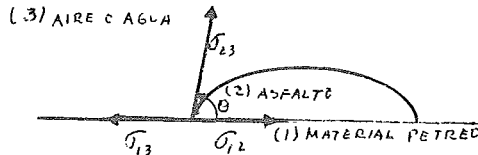
El problema indica dos aspectos fundamentales:

- 1) Debe existir una adherencia suficiente entre el asfalto y los materiales que debe aglutinar.

- 2) La adherencia debe resistir la acción de otras sustancias principalmente del agua, sin debilitarse y protegiendo a los materiales que aglutina.

2.1) La tensión interfacial y el ángulo de contacto.

El estado de equilibrio del sistema sólido-asfalto-aire (o agua) en ausencia de fuerzas extrañas se puede representar por tensiones superficiales de los tres planos entre las fases.



(Material Pétreo con mayor afinidad al Asfalto que por el Agua).

Las siguientes tensiones superficiales actúan sobre una gota de asfalto situada en una placa lisa de material sólido:

- σ_{13} Tensión superficial entre sólido y aire (agua)
- σ_{12} Tensión superficial entre sólido y asfalto
- σ_{23} Tensión superficial entre asfalto y aire (agua)

Haciendo un balance de tensiones

$$\sigma_{13} = \sigma_{23} + \sigma_{12} \text{ en el punto de equilibrio}$$

$$\therefore \sigma_{13} > \sigma_{12}$$

Hay afinidad mayor del asfalto al material sólido que el aire (agua) al sólido.

3 AIRE o AGUA

2 ASFALTO

1 MATERIAL PÉTREO

θ

σ_{13} σ_{12} σ_{23}

$$\sigma_{12} = \sigma_{13} + \sigma_{23} \text{ en el punto de equilibrio}$$

$$\cos \alpha = \frac{x}{\sigma_{23}}$$

$$x = \sigma_{23} \cos \alpha \quad x = \text{proyección del vector } \sigma_{23} \text{ sobre el eje considerado}$$

$$\sigma_{12} = \sigma_{13} + \sigma_{23} \cos \alpha$$

$$\therefore \sigma_{12} > \sigma_{13}$$

La tensión interfacial del asfalto-material pétreo va ser mayor que la tensión interfacial agua-material pétreo, por lo que no hay una afinidad del asfalto al sólido.

Por lo visto el ángulo de contacto θ es fundamental para estimar el grado de adherencia entre un sólido y un asfalto.

Haciendo una gráfica de tensión superficial contra temperatura se obtiene una relación final. De los valores de la tensión superficial, se - puede calcular la energía total de superficie

$$E_s = \int - T \frac{d}{dt} \quad \begin{array}{l} \int = \text{Tensión Superficial} \\ T = \text{Temperatura absoluta} \end{array}$$

Tomando en cuenta que la relación C : H es mayor en los asfaltenos que en los maltenos, aquellos no manifestarán tendencia alguna de concentrarse en la superficie.

Según Pfüffer en la interfase del asfalto con un sólido, los agrupamientos polares y aromáticos - se orientarán hacia el sólido. Esto comprueba que la tensión del asfalto no es suficiente para dar se la idea de la adherencia de éste a un sólido, ya que solo nos dice la orientación; además la tensión superficial de los asfaltos sobre el sólido se afecta grandemente por el pH del agua.

Es difícil medir la tensión superficial del asfalto en algún sólido porque fácilmente penetra en aquél si es poroso quedando fijado enérgicamente.

El problema que presenta el asfalto al adherirse al sólido cuando hay presencia de agua, se debe a que ésta tiende a desplazar al asfalto de la superficie sólida al modificar el ángulo de contacto. Esta alteración depende de la naturaleza del sólido.

En general, la humedad disminuye grandemente la adherencia; sin embargo, se ha comprobado que pequeñas cantidades de hierro en materiales silicosos inhibe el desplazamiento del asfalto por el agua, asimismo si se adicionan sustancias que tengan actividad capilar, éstas afectarán el ángulo de contacto.

La acción de tales sustancias se manifiesta en dos sentidos:

- 1) Se produce una modificación a la tensión interfacial.
- 2) Se estabiliza el ángulo de contacto, de manera que el asfalto ya no se retrae o extiende sobre la superficie.

Las parafinas (en contra de lo que se supone) y los fillers minerales del asfalto, casi no afec

tan la tensión interfacial, pero en cambio con fieren rigidez al asfalto, haciendo mas difícil su separación por el agua.

Se conoce muy poco de la capa que separa al asfalto del sólido. Se supone que los compuestos aromáticos del asfalto, se ponen a lo largo del sólido y que lo constituyentes con mayor sa turación se orientan hacia el seno del asfalto. Esta disposición causa la adsorción específica de las patículas de alto peso molecular (los - asfaltenos principalmente).

Como hemos dicho anteriormente de las cargas -- pseudoeléctricas del material pétreo depende mucho la adherencia del asfalto. Dichas cargas son negativas o positivas, dependiendo de la clase de aquél. Si las cargas son del mismo signo que el asfalto rebajado habrá repulsión entre ambos, y viceversa, esto es cuando usamos asfalto diluído para evitar un calentamiento del asfalto al ser aplicado. La composición química del material pétreo definirá su carga, en aquellos en que exista el radical SiO_2 , como el cuarzo y rocas de este tipo serán materiales ácidos, es decir, ten -

drán carga negativa, por lo que en estos casos deberá usarse asfalto de carga positiva. Ahora cuando es tipo básico, con elevado contenido de álcalis como las rocas calizas donde su superficie presenta carga positiva, se utilizará material asfáltico de carga negativa para su mejor adherencia.

En México generalmente se tienen rocas de carácter ácido con deficiencia a la adherencia al asfalto, entre éstas contamos con: areniscas, andesitas y reolitas. Por lo que se necesita poner otros componentes para ayudar y llevar a cabo la adherencia, aunque por ésto el costo de la construcción aumenta.

El proceso a que se somete un material bituminoso al ser empleado en pavimentación son los siguientes: mezclado, tendido, compactado y exposición al tráfico.

La mezcla del asfalto con el agregado se puede realizar de varias maneras: el sistema sencillo para tratamiento de superficies, consiste en extender el material asfáltico sobre la superficie cubrirlo con agregado, plancharlo y exponerlo al

tráfico.

La superficie obtenida se trata con el asfalto caliente y ocasionalmente se cubre con agregado mas fino.

Cuando se realiza "la mezcla en campo" se extiende para formar en la carpeta una mezcla previamente en caliente o en frío (asfaltos rebajados). En ambos casos es necesario que la viscosidad del asfalto sea baja para cubrir al agregado.

La compactación del material se realiza normalmente por medio de un planchado y ocasionalmente a base del tráfico.

La compactación puede considerarse como una deformación plástica del material acompañada de una reducción de espacios libres.

Para evaluar las pruebas mecánicas sobre los materiales y el comportamiento del asfalto en los caminos es necesario cumplir las siguientes etapas:

- 1) Efectuar pruebas sobre materiales tomados de caminos buenos y malos.

- 2) Construir caminos experimentales y hacer periódicamente pruebas de los materiales de esos caminos en el laboratorio, con objeto de correlacionar los defectos visibles con los datos de laboratorio.
- 3) Exponer los materiales bajo pruebas en carpetas especiales y sujetarlas al tráfico intensivo artificial, lo cual se puede hacer empleando maquinarias de pruebas para caminos. Muestras de esos materiales sujetos a dichas pruebas son llevadas al laboratorio para los análisis respectivos. Para obtener una evaluación integral satisfactoria de las pruebas mecánicas es necesario realizar todas las etapas anteriores, ya que con la omisión de alguna de ellas se podrían llegar a conclusiones no del todo confiables.

C A P I T U L O 3

DESARROLLO DEL ASFALTO MEJORADO

De acuerdo a lo indicado anteriormente, el presente estudio se realizó con el propósito de mejorar las características y comportamiento de los asfaltos de consumo nacional, para lo cual se utilizaron extractos aromáticos. Estos extractos son ricos en su contenido de aceites y resinas, habiéndose mezclado con residuo asfáltico obtenido en la planta desasfaltadora con propano, esta última fracción contiene asfaltenos requeridos para la integración del asfalto. La mezcla de estos dos tipos de fracciones se preparó para dar lugar a un asfalto No.6 experimental.

La formulación obtenida del asfalto No.6 experimental quedó de la siguiente forma: 70% de residuo de la desasfaltadora y 30% mezcla de extractos aromáticos y, dicha mezcla de extractos con la siguiente composición: 37.2% de neutro pesado 95, 56.3% de pesado 95 y 6.5% de cilindros 650.

3.1 Experimentación

La parte experimental se dividió en las siguientes etapas:

- a) Caracterización del asfalto No.6 de consumo nacional, del asfalto experimental y sus componentes.
- b) Pruebas de adherencia entre los asfaltos mencionados y tres diferentes tipos de materiales pétreos y
- c) Pruebas de Ingeniería.

Respecto a la etapa (a) antes mencionada, se hicieron las siguientes pruebas:

1. Penetración
2. Punto de ablandamiento
3. Solubilidad en CS_2
4. Punto de inflamación
5. Ductilidad a $25^{\circ}C$
6. Pérdida por calentamiento
7. Constituyentes asfálticos
8. Contenido de metales
9. Contenido de azufre total

Las seis primeras pruebas corresponden a las especificaciones nacionales para asfalto No.6, las restantes pruebas realizaron por considerarse adecuados para poder relacionar en cierta forma la composición con el comportamiento del asfalto.

A continuación se mencionarán brevemente cada una de las pruebas realizadas.

Penetración. Esta prueba proporciona una idea acerca de la consistencia de un material asfáltico. El método para realizar la prueba es sencillo; consiste en hacer pene -

trar verticalmente una aguja de dimensiones determinadas, bajo ciertas condiciones de tiempo, temperatura y carga en un recipiente que contiene al material. La penetración se mide en décimas de mm. y representa una - determinación de la resistencia a la deformación, la - cual a su vez está relacionada con la viscosidad.

Respecto a las dimensiones del recipiente, si éstas exceden 5.0 cm de lo especificado no afectan la de terminación, la temperatura debe mantenerse sin permitir variaciones mayores de 0.1°C y el tiempo debe medir se con una precisión de 1/5 seg. Una variación de 1% en la carga no afecta la medida.

En los bitúmenes generalmente se encuentra una re lación lineal entre el logaritmo de la penetración y el logaritmo del tiempo.

$$\text{Log pen} = B \text{ Log } t + C$$

B = pendiente de la línea que se forma al graficar Log del tiempo Vs. Log de la penetración.

Punto de Ablandamiento. Los asfaltos como todos los bitúmenes asfáltico no tienen un punto de fusión, ya que al ser calentados se ablandan gradualmente. Esto hace - que cualquier medida del punto de ablandamiento sea un

tanto arbitraria.

El método para determinación del punto de ablandamiento es el llamado "Ring and Ball" (anillo y bola).- Consiste en lo siguiente: un anillo metálico de dimensiones determinadas se llena con asfalto fundido completamente y se enfría a temperatura ambiente. Sobre el asfalto se coloca un balón metálico de 3.5 g aproximadamente y se calienta el conjunto a baño maría a razón de 50°C por minuto. Cuando el balón se hunde una pulgada se registra la temperatura y este valor es el resultado de la prueba.

Como el método es convencional, se precisó detallar todas las condiciones de la prueba y apegarse estrictamente a ellas.

Debido a las condiciones de trabajo a que se debe de utilizar el asfalto, es necesario saber su punto de ablandamiento para su manejo.

Solubilidad en CS₂. Básicamente la prueba se realiza de la siguiente forma: a una muestra de 2 g de asfalto sin agua se le añade 100 ml de CS₂, agitándose hasta di solución completa. Se deja después reposar 12 horas. Se filtra en un Gooch, luego éste se lleva a una estufa de 100 a 125°C durante 20 minutos para secar completamente

se deja enfriar en un desecador y se pesa, el aumento de peso del Gooch será la cantidad de asfalto insoluble en CS_2 ; además, la materia insoluble que haya quedado adherida en el recipiente donde se hizo la disolución, se seca y se pesa también para sumársela al del Gooch. El cálculo del porcentaje de solubilidad en CS_2 será:

$$\% \text{ Soluble en } CS_2 = \frac{\text{asfalto original} - \text{asfalto insoluble}}{\text{asfalto total}} \times 100$$

Punto de Inflamación. Consiste en agregar el asfalto a un vaso tarado, el cual se le suministra calor subiendo la temperatura de 25 a 30°F por minuto. Antes de llegar a un punto de inflamación el suministro de calor debe ser tal para obtener un aumento en la temperatura de 9 a 11°F por minuto. La flama de prueba se hace pasar por el plano superior del vaso conteniendo el asfalto; en un momento dado habrá una ignición instantánea en algún punto del líquido alifático, en seguida se anota esa temperatura que será la de ignición. Se sigue calculando la mezcla con la misma velocidad de calentamiento, haciendo pasar la flama de prueba a intervalos de 5°F hasta que la muestra se inflame to-

talmente, dejando que se quemee 5 segundos más, entonces se mide esta temperatura que será la temperatura de inflamación.

Ductilidad. Esta prueba está basada en medir la elongación máxima que puede soportar una muestra de material asfáltico antes de romperse al estirarlo por sus extremos.

Consiste en aplicar calor a la muestra con cuidado para prevenir sobrecalentamiento y producirse una descomposición en la muestra, hasta que fluya; se coloca en un molde el material asfáltico para la prueba.

La muestra dentro del molde se le aplican fuerzas en los extremos en una máquina de prueba que la elongará a una cierta velocidad uniforme hasta que la muestra se rompa. La distancia en cm de la separación de los extremos que quedaron al romperse la muestra será el valor de la ductilidad.

Pérdida por Calentamiento. Se colocan 50 ± 5 gr del asfalto libre de agua en un recipiente en forma cilíndrica, si el material ha sido calentado previamente deberá enfriarse a temperatura ambiente, posteriormente se introduce la muestra a un horno giratorio (velo

cidad de 5 ó 6 rpm) a una temperatura de 163°C durante 5 horas. Por diferencia de peso antes y después de la prueba se obtendrá la pérdida por calentamiento.

Constituyentes Asfálticos. En esta prueba se determinaron el contenido de asfaltenos, resinas y aceites por medio de la extracción selectiva de los asfaltenos con pentano y adsorción en sílica-alúmina de las resinas.

Análisis de Metales. Los metales que se analizaron fueron los siguientes: fierro, cobre, níquel, vanadio en cada uno de los asfaltos. Estos análisis se hicieron por medio de absorción atómica.

Azufre Total. El contenido de azufre en la mezcla asfáltica se determinó por el método del aparato LECO (ASTM-D-1552-64). Esta determinación es volumétrica.

Consiste en tomar una muestra de 0.05 g en una cápsula de porcelana con tapa porosa por donde se le alimenta una cantidad de oxígeno que servirá para llevar a cabo una combustión instantánea al hacer saltar una chispa eléctrica en el recipiente. El azufre quemado que se convierte en SO_2 es el 97% aproximadamente del

contenido en la muestra. Los gases, productos de la - combustión son conducidos para ser absorbido en una solución ácida de yoduro de potasio mas almidón como - indicador. Un color azul es formado en la solución debido a la presencia de yodo en almidón; el yodo desprendido en la reacción de SO_2 y yoduro de potasio es titulado con una solución de yodatos de potasio mediante una bureta conectada directamente a la solución ácida. La titulación es automática; por medio de una fotocelda. El porciento de azufre contenido en el asfalto será proporcional a la cantidad de yodato gastado en la titulación haciendo las debidas correcciones según sea el peso de muestra tomado. (Ver resultados en la Tabla 1).

b) Pruebas de Adherencia.

Respecto a la segunda etapa de la parte experimental de este trabajo, se realizaron las pruebas de adherencia. Estas pruebas tienen por objeto encontrar la afinidad existente entre los materiales pétreos y el asfalto utilizado en pavimentación. En este caso se determinaron las adherencias que presentan tres materiales pétreos diferentes (basalto, grava de río y tezontle)

y los dos tipos de asfalto No.6, es decir, el consumo nacional y el experimental.

La prueba de adherencia consiste en mezclar fuertemente el asfalto a estudiar con cada uno de los materiales pétreos a 100-130°C, después de lo cual, la mezcla asfalto-material pétreo se enfría lentamente y la mitad de dicha mezcla se sumerge en agua durante 24 horas. Posteriormente, y dentro del agua, la mezcla se coloca en recipientes de vidrio cerrados que a su vez se sujetan a la flecha de un motor y se someten a movimientos rotatorios durante 2 horas y a una velocidad de 30 rpm. Luego se saca la mezcla, se deja secar a temperatura ambiente y se compara el recubrimiento del material pétreo, después de la prueba con el que presenta la otra mitad de la mezcla que se separó originalmente. Estas pruebas se realizan en forma rutinaria a los materiales utilizados en el diseño de carpetas asfálticas.

Los resultados obtenidos en estas pruebas se encuentran en la Tabla II.

TABLA I

CARACTERIZACION DE ASFALTO, MEZCLA Y COMPONENTES

Pruebas	Tipo de Muestra *						
	A	B	C	D	E	F	G
1. Peso específico, 20/4°C	1.026	1.040	1.070	0.977	0.978	0.969	1.002
2. Ductilidad a 25°C, cm.	+150	+150	11.4	-	-	-	-
3. Penetración, 100g/5seg/ 25°C, décimas de mm.	80	83.0	5.0	-	-	-	-
4. punto de ablandamiento, °C	52.0	45.0	78.0	-	-	-	-
5. Punto de escurrimiento, °C	-	-	-	40.0	34.0	43.0	33.0
6. Solubilidad en CS ₂ , %	99.63	99.93	99.92	-	-	-	-
7. Pérdida por calentamiento 100g/5h/163°C, %	0.01	0.01	0.0	-	-	-	-
8. Temperatura de inflamación, °C	354.0	311.0	361.0	280.0	271.0	297.0	301.0
9. Constituyentes asfálticos, %(8)							
Asfaltenos	18.4	18.6	27.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Resinas	23.4	27.9	30.4	16.90	17.12	16.28	16.89
Aceite	58.2	53.5	41.9	83.10	82.88	83.72	83.11
10. Metales, ppm							
Fe	19.0	7.0	24.5	-	-	-	-
Cu	0.5	0.5	0.8	-	-	-	-
Ni	26.5	11.2	13.8	-	-	-	-
V	150.0	160.0	178.6	-	-	-	-
11. Azufre total, %	3.46	3.82	4.35	2.96	3.14	2.73	3.38

- * A; Asfalto No.6, Consumo Nacional
- B; Asfalto Experimental: 70% Residuo Desasfaltadora + 30% Mezcla de Extractos Aromáticos.
- C; Residuo de la planta desasfaltadora con propano.
- D; Mezcla de Extractos Aromáticos: 37.2% Neutro Pesado 95, 56.3% Pesado 95 y 6.5% Cilindros 650.
- E; Extracto Aromático de Neutro Pesado 95
- F; Extracto Aromático de Pesado 95
- G; Extracto Aromático de Cilindros 650

TABLA II ADHERENCIAS QUE PRESENTAN CADA UNO DE LOS ASFALTOS CON DIFERENTES MATERIALES PETREOS.

<u>Tipo de Asfalto</u>	<u>% de Adherencia en el Material Pétreo</u>		
	<u>Tezontle</u>	<u>Basalto</u>	<u>Berrendo *</u>
Asfalto No.6			
Consumo Nacional	70	60	45
Asfalto Experimental	75	60	60

* Grava de río

c) Pruebas de Ingeniería.

Existen varios métodos para el diseño de una mezcla asfalto-material pétreo utilizable en la construcción de carreteras, estos métodos son:

- 1.- Marshall
- 2.- Hubbard-Field
- 3.- Hveem
- 4.- Smith Triaxial

Todos tienen unos puntos en común:

- 1o. Asegurar que la mezcla resista un adecuado esfuerzo para soportar la intensidad del tráfico sin deformarse.
- 2o. Confirmar que la mezcla contenga suficiente asfalto para asegurar durabilidad.
- 3o. Confirmar que haya una adecuada cantidad de vacíos de aire en la mezcla compactada, para asegurar que, en servicio, el asfalto no fluya a la superficie.

En las pruebas de ingeniería se llevaron a cabo las pruebas del "Método Hveem" de estabilidad y cohesión - - (ASTM-D-1560), para cada uno de los asfaltos estudiados y un mismo tipo de material pétreo (mezcla natural de Caliza y Diorita).

Método Hveem

Este método es utilizado para pruebas de mezclas asfálticas de pavimentación en la que se emplea cemento asfáltico o asfaltos líquidos con materiales pétreos de tamaño máximo de 2.5 cm. Por consiguiente este método puede usarse, no sólo para el proyecto de mezclas asfálticas en caliente, sino también para mezclas en frío con asfaltos líquidos. Hasta ahora, el método Hveem es utilizado principalmente para el proyecto de mezclas densas de pavimentación y puede emplearse tanto para el proyecto en laboratorio como para control en obra de las pavimentaciones asfálticas de mezclas en caliente.

El método de Hveem comienza con la preparación de las pastillas. Dichas pastillas usadas son de 2.5 pulg. de altura y 4 pulg. de diámetro que se preparan con un procedimiento perfectamente definido para calentar, mezclar y compactar las mezclas de material pétreo y asfalto.

Las principales características del método de Hveem para el proyecto de mezclas son: (1) el empleo de la prueba del equivalente centrífugo en kerosina (CKE), que se aplica a los materiales pétreo para estimar la cantidad de asfalto que requiere la mezcla; (2) prueba del estabi

lómetro; (3) prueba de cohesiómetro y (4) el análisis de vacíos en la mezcla compactada.

El resumen de la prueba es el siguiente:

a) Preparación de la mezcla asfalto-material pétreo.

Se calculan los pesos necesarios para obtener la granulometría deseada del material pétreo. Normalmente 1200 g (peso en seco) son suficientes para cada pastilla. Se pesan las fracciones de diversos tamaños del material pétreo seco de acuerdo con la curva granulométrica previamente obtenida.

Se mezcla perfectamente cada porción del material pétreo y se calientan a la temperatura de mezcla deseada; al mismo tiempo debe calentarse el asfalto.

La temperatura a la que se recomienda calentar el asfalto No.6 es de 149°C. No es conveniente calentar el asfalto arriba de 177°C porque se ha observado que el valor de la penetración disminuye notoriamente respecto a la penetración original.

Cuando el material pétreo y asfalto hayan alcanzado la temperatura de mezcla, se mezclan enérgicamente material pétreo y asfalto hasta que todas las partículas estén perfectamente cubiertas, debiendo tener

cuidado al sobrecalentamiento. Se vierte la mezcla en un recipiente plano y se coloca en la estufa a $60 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$ durante un período de curado de 15 hrs. Preferentemente la estufa empleada para el curado - debe de estar provista de circulación forzada de -- aire.

Una vez terminado el período de curado, se calienta la mezcla a 110°C con lo que queda dispuesta para - ser compactada.

b) Compactación.

La compactación de la mezcla asfalto-material pétreo se realiza con el compactador mecánico que produce una consolidación por amasada mediante una serie de impresiones de un pistón con una cara en forma de - sector circular de 4 pulg de diámetro. En cada aplica ción del pistón se ejerce una presión de 500 lb/pulg^2 (35 kg/cm^2), sometiendo la mezcla a una acción de -- compactado sin impacto en una superficie aproximada de 20 cm^2 . En cada aplicación del pistón, la presión se mantiene durante $2/5$ de segundos aproximadamente.

c) Prueba de Estabilidad.

Se colocan las "pastillas" obtenidas en la compactación en una estufa a 60°C durante una hora como mínimo antes de la prueba.

Se extrae de la estufa el molde conteniendo la pastilla y se coloca sobre el estabilómetro. Empleando el pistón, la palanca de mano y el punto de apoyo se obliga a la "pastilla" salir del molde y entrar en el estabilómetro.

Se coloca el seguidor de acero sobre la "pastilla" se pone en posición el conjunto en la prensa para la prueba. Se eleva la presión en el estabilómetro utilizando la bomba de pistón hasta que el manómetro - marque exactamente 5 lb/pulg^2 (0.35 kg/cm^2).

Se aplica con la prensa las cargas empleando una velocidad del pistón de 0.05 pulg/min . Asimismo se -- anotan las lecturas del manómetro del aparato para las siguientes cargas: 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 y 6000 lbs. Después de la última carga - - - (6000 lbs) se eleva la prensa dejando una carga de 1000 lb sobre la pastilla. Se pone en cero el cuadrante de la bomba por medio del pequeño tornillo y se - hace girar la manivela de la bomba rápida hasta que

la presión en el cuadrante sea 100 lb/pulg² - - -
 (7 kg/cm²). El número exacto de vueltas necesarias
 para aumentar la lectura del cuadrante del estabi-
 lómetro desde 5 hasta 100 lb/pulg², (habiéndose co-
 rregido con la válvula de la bomba a 5 lb/pulg²)
 recibe el nombre de fluencia o desplazamiento de
 la pastilla la cual debe anotarse.

La estabilidad de la mezcla asfalto-material pé-
 treo compactada se determina por medio de la si-
 guiente fórmula:

$$S = \frac{22.2}{\frac{PhD_2}{Pv-Ph} + 0.222}$$

En donde:

S = Estabilidad relativa

D₂ = Fluencia de la pastilla

Pv = Presión vertical de 400 lb/pulg² (5000 lb de
 carga total).

Ph = Presión horizontal correspondiente a Pv =
 400 lb/pulg²

d) Prueba de Cohesión.

Las pruebas del cohesiómetro se realizan en las --
 mismas muestras empleadas previamente para la de -

terminación de la estabilidad y de la densidad apa
rente. Se coloca la "pastilla" durante dos horas,
aproximadamente en la estufa a 60°C y se calibra
el cohesiómetro de tal forma que las municiones flu
yan sobre el cubo receptor, situado en el extremo
de la palanca de 75 cm de longitud, a un gasto de
1800 ± 20 g/min. Se extrae la pastilla del horno y
se sujeta firmemente en posición centrada y con --
las placas superficiales paralelas a la superficie
exterior de la pastilla. Se deja que la temperatu-
ra en la cámara del cohesiómetro alcance 60± 1°C -
antes de comenzar la prueba.

Se quita el seguro, con lo cual la "pastilla" que-
da libre y se permite a las municiones caer en el
cubo receptor dejando que esta caída continúe has-
ta la ruptura de la pastilla, indicada por el des-
censo repentino de la palanca. Se pesan las municio-
nes recogidas en el cubo receptor. El cálculo para
el cohesiómetro se obtiene por medio de la siguien-
te fórmula:

$$C = \frac{L}{0.8H + 0.178H^2}$$

En donde:

L = peso de las municiones

H = altura de la "pastilla" en pulg.

C = valor del cohesiómetro (gramos por pulgada de ancho corregido para la altura de 3 pulg.)

Determinación del peso específico.

Esta prueba se realiza sobre las "pastillas" después de las determinaciones del estabilómetro y tan pronto como se han enfriado a temperatura ambiente. Esto se logra pesando cada una de las pastillas y determinando el volumen por desplazamiento de agua de las pastillas, previamente cubierto con estearato de sodio, con lo cual se logra una impermeabilización de las mismas.

Determinación del porcentaje de VAM

El porcentaje de VAM significa el porcentaje de vacíos que existirán en el material pétreo compactado en ausencia de asfalto y se determinan aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ VAM} = 100 - \frac{(100-b)J}{D_M}$$

En donde:

% VAM = % vacío en el material sólido compactado

b = % de asfalto en la mezcla

J = es el peso volumétrico de la "pastilla"

D_M = densidad del material pétreo.

Determinación de Vacío

Esta dada por:

% vacíos = % VAM - % Vol. de asfalto

% vacíos = vacíos dejados por el material pétreo compactado (% VAM) menos el Vol ocupado por el asfalto.

Los resultados de las pruebas de Ingeniería por el Método Hveen, se encuentran especificados en las Tablas III y IV.

TABLA III

PRUEBA HVEEM PARA EL DISEÑO DE CARPETAS
ASFALTICAS

Asfalto No.6 Consumo Nacional

Porcentaje por 100 unidades de peso seco de material pétreo *, % peso

4.5 5.0 5.5 6.0

P r u e b a s

1. Peso volumétrico de la mezcla asfalto-material pétreo, (gr/cm ³)	2.313	2.402	2.425	2.440
2. Vacíos en la mezcla compactada, %	8.33	4.13	2.55	1.28
3. Valor del cohesiómetro	153.1	300.1	189.9	209.0
4. Estabilidad relativa	60.0	37.5	22.5	Inestable
5. Vacíos en el material - pétreo compactado, (% VAM).	18.04	15.28	14.87	14.74

* Mezcla natural de Caliza y Diorita.

TABLA IV

PRUEBA HVEEM PARA EL DISEÑO DE CARPETAS
ASFÁLTICAS

Residuo Desasfaltadora + 30% Mezcla
Extractos Aromáticos.

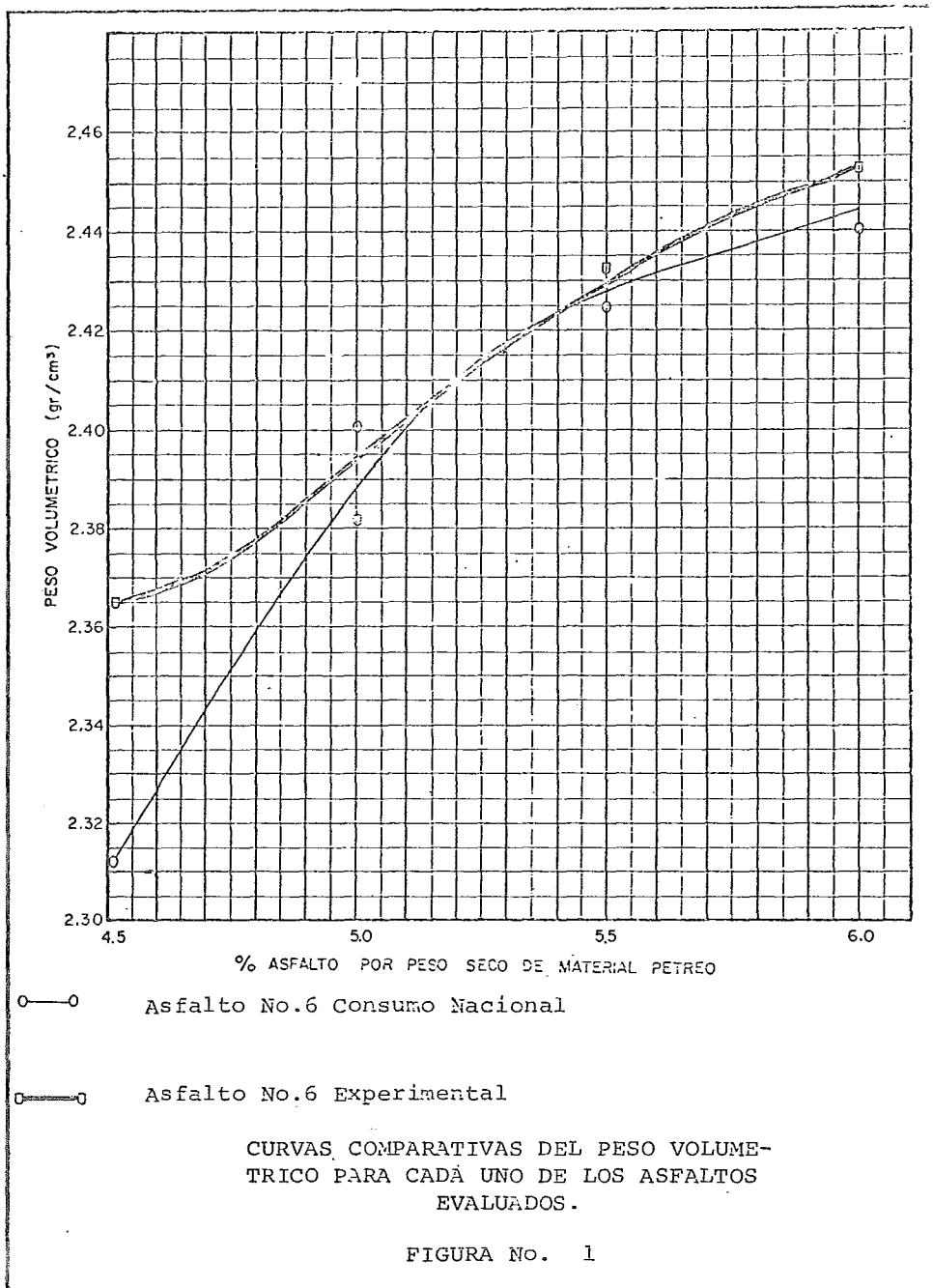
Porcentaje por 100 unida-
des de peso seco de mate-
rial pétreo *, % peso.

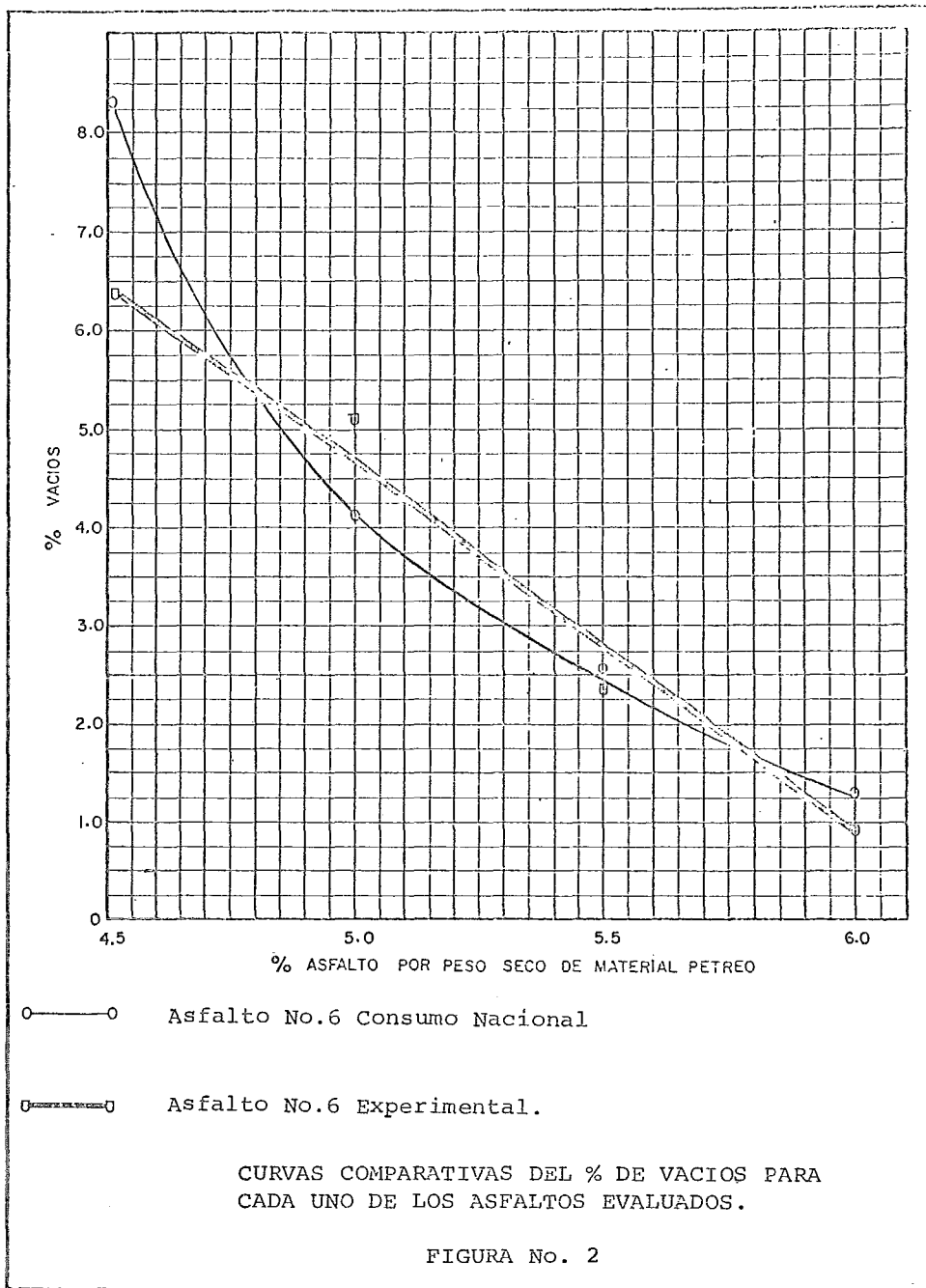
4.5 5.0 5.5 6.0

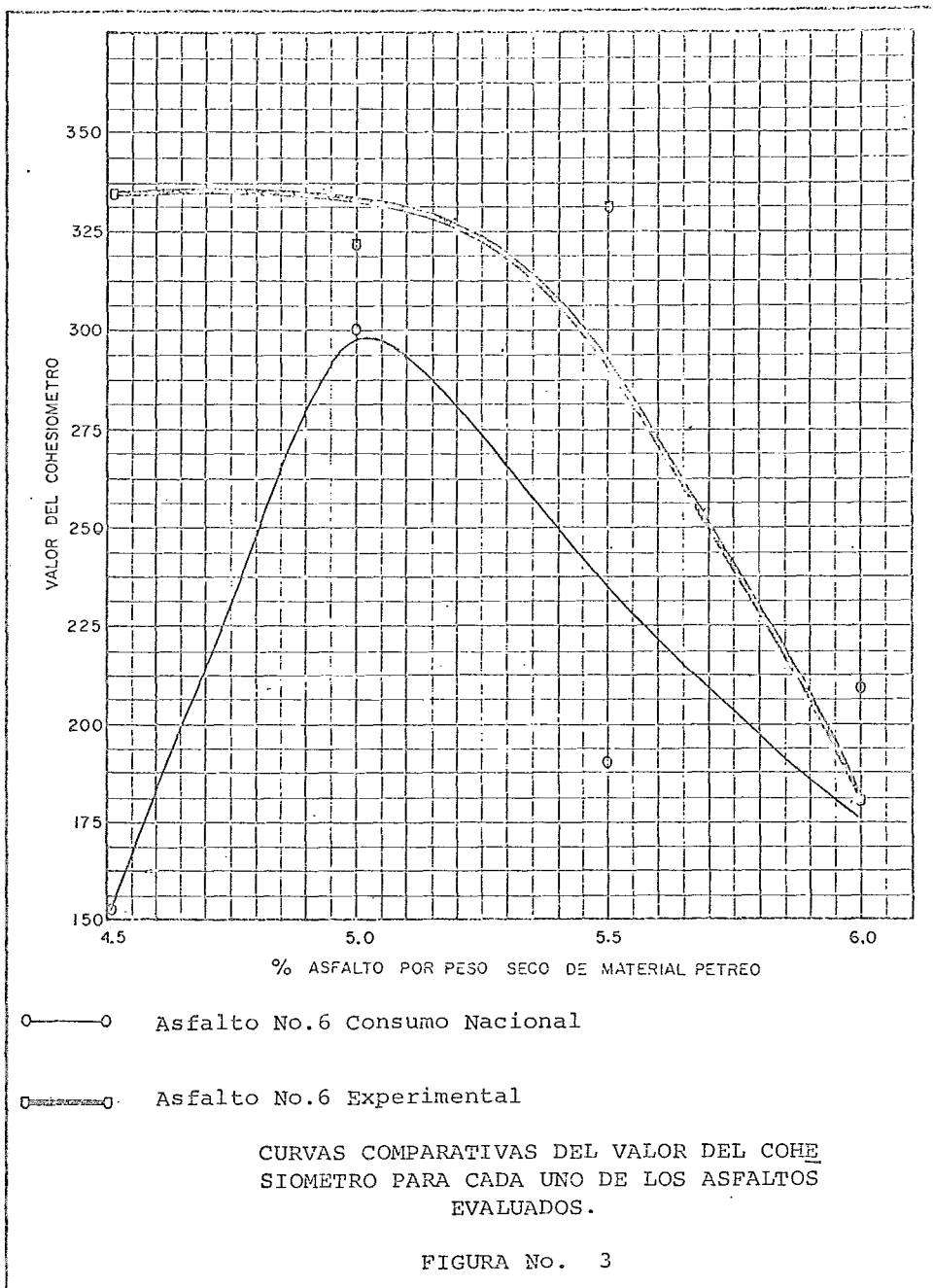
P r u e b a s

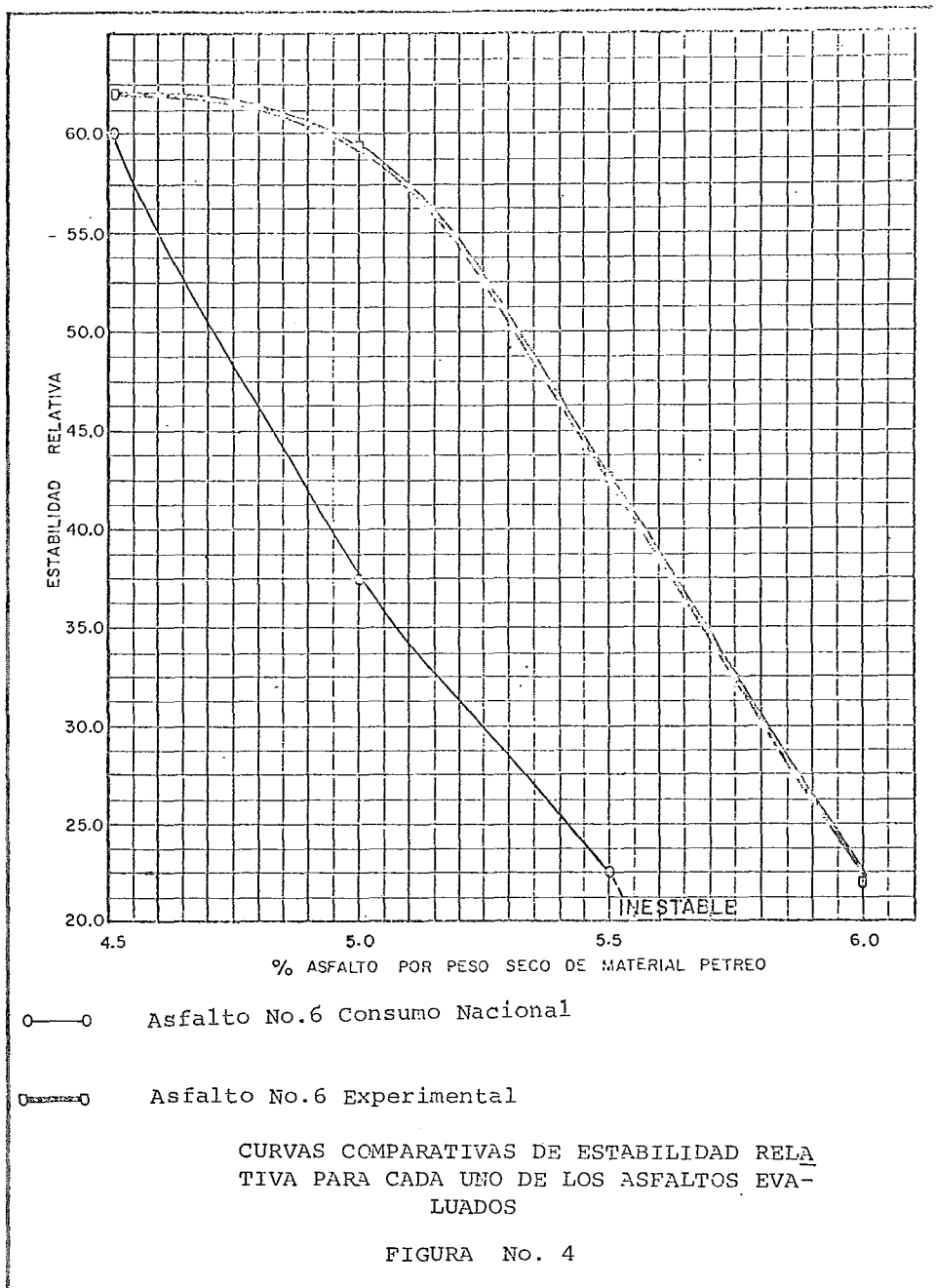
1. Peso volumétrico de la mezcla asfalto-material pétreo, (gr/cm ³)	2.365	2.382	2.434	2.453
2. Vacíos en la mezcla com- pactada, %	6.39	5.07	2.35	0.94
3. Valor del cohesiómetro	336.0	323.0	331.1	162.9
4. Estabilidad relativa	62.0	59.7	43.0	22.0
5. Vacíos en el material pétreo compactado, (% VAM)	16.18	15.98	14.55	14.29

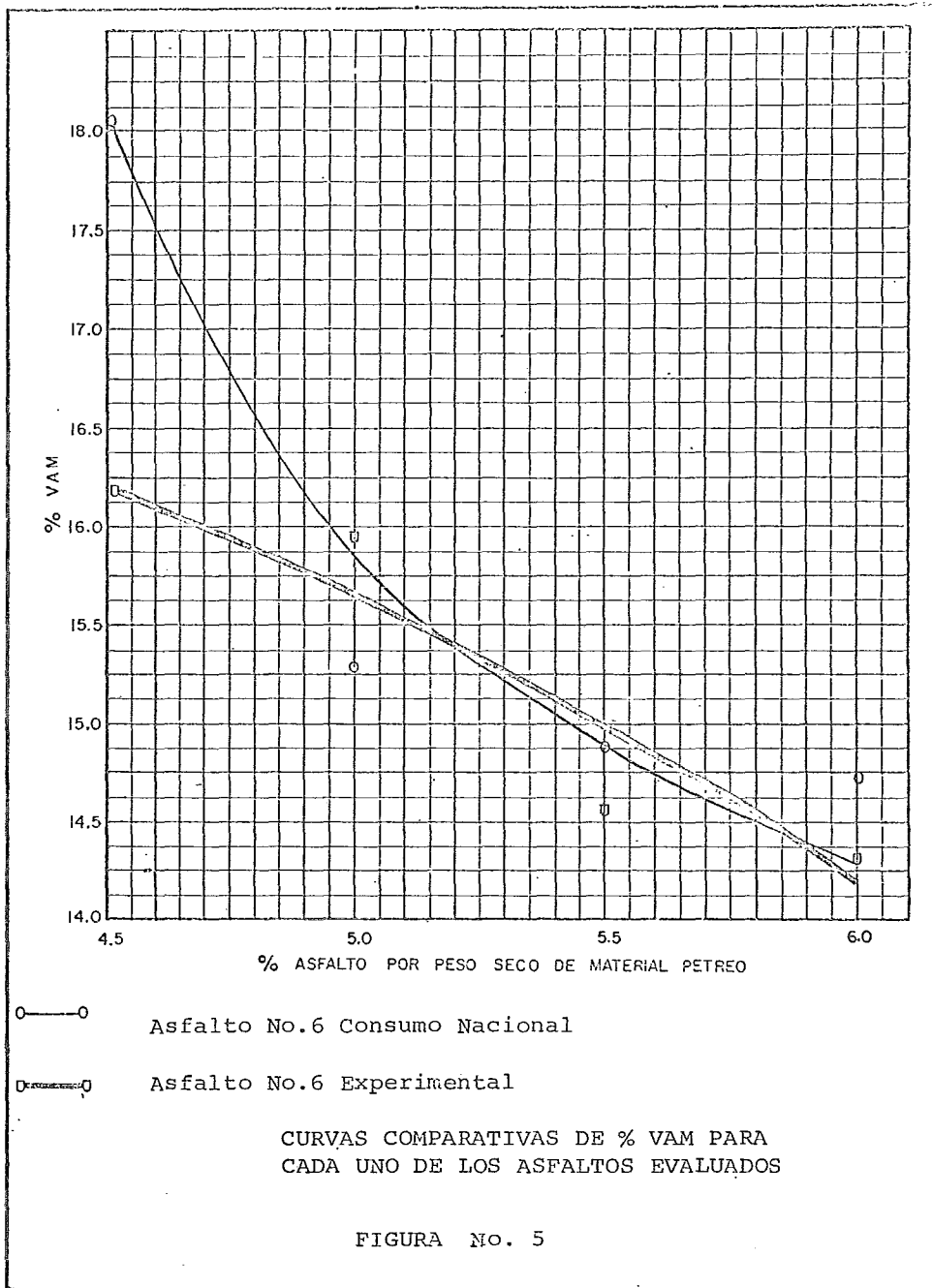
* Mezcla natural de Caliza
y Diorita.











C A P I T U L O 4

EVALUACION DE RESULTADOS

4.1 Pruebas de Especificaciones de Pemex para el Asfalto No.6. De la Tabla No.1, se puede mencionar que el asfalto experimental cumple con todas las especificaciones Pemex para este tipo de productos.

4.2 Pruebas de Adherencia.

Al analizar los datos obtenidos en estas pruebas, se puede hacer notar que el asfalto experimental presenta mayor adherencia con los materiales pétreos tezontle y berrendo que las obtenidas con el asfalto No.6 de producción normal de la Refinería de Salamanca.

4.3 Pruebas de Ingeniería.

En cuanto a los resultados reportados en las Tablas Nos. 3 y 4 correspondientes a las pruebas Hveen, se puede indicar que la estabilidad y la cohesión que se obtuvo en la mezcla compactada asfalto experimental-material pétreo es notablemente superior que la obtenida en el Asfalto No. 6 Refinería de Salamanca y el mismo material pétreo (Ver -- Figs. 5 y 6).

4.4 Consideraciones Económicas.

De la estimación de costos, es de indicarse que la recuperación económica al utilizar el residuo LD y la mezcla de extractos aromáticos como asfalto No.6 es bastante atractiva e igual a \$74.20/m³.

C A P I T U L O 5

DISEÑO DEL EQUIPO INDUSTRIAL UTILIZADO EN
LA ELABORACION DEL ASFALTO EXPERIMENTAL

Como se mencionó anteriormente, el asfalto experimental se obtuvo mezclando en el laboratorio el residuo de la desasfaltadora con propano con la mezcla de los diferentes extractos aromáticos pesados a temperaturas superiores a los 150°C.

Así, para llevar a efecto la elaboración de las mezclas y obtener el asfalto experimental en forma industrial es necesario contar con un recipiente con agitación. Este estará en posición vertical provisto de agitación mecánica.

5.1 Diseño del Tanque Mezclador.

La capacidad del tanque es de 400 barriles, se contará con 5 de esta capacidad, debido a que la cantidad de extracto aromático es de 2,915 barriles por día, siendo éste el 30% de la mezcla, la cantidad total de asfalto experimental - diariamente producida es de 9,720 barriles por día. Entonces haciendo un balance, conviene hacer 5 cargas diarias a cada uno de los tanques que formarán a una batería de cinco. En su

ma cada tanque tendrá una capacidad de 400 barriles como volumen normal.

Los tanques que forman la batería son de material de acero al carbón, con tapa torisférica del mismo material. Aseñtando el nivel del suelo, con agitador tipo Philadelphia. El diseño del tanque es el siguiente:

Para 400 barriles se ha escogido un tanque de 12.5 ft - de diámetro en una altura de 18 ft, 3 9/10 pulg. Los cálculos son los siguientes:

Espesor del cascarón.

Siguiendo la teoría de la membrana modificada

$$t = \frac{Pr_i}{fE - 0.6P} + C \quad (1)$$

en donde:

P = presión de operación psi

r_i = radio pulgada

E = eficiencia de la soldadura

f = esfuerzo permisible psi

C = corrosión permisible pulg.

t = espesor en pulg.

Datos

$$P = 14.7 \text{ psi}$$

$$f = 15000 \text{ psi}$$

$$r_i = 75 \text{ pulg}$$

$$C = 1/8 \text{ pulg}$$

$$E = 0.80$$

Sustituyendo datos en (1):

$$t = \frac{(14.7)(75)}{(15000)(0.8) - 0.6(14.7)} + C$$

$$t = 0.1235" + 0.125"$$

$$t = 0.2485" \quad 1/4"$$

Espesor del cascarón (Shell) es de 0.25 pulg.

Espesor de la tapa torisférica.

Carga a soportar un agitador de peso 6160 lbs.

Datos

$$W = 6160 \text{ lbs}$$

$$a = 1225 \text{ ft}^2 = 17600 \text{ in}^2$$

$$P_1 = 0.35 \text{ lbs/in}^2$$

$$P_2 = 14.7 \text{ lb/in}^2$$

$$P_2 > P_1$$

$$t = \frac{0.885 Pr_c}{fE - 0.1P} + C \quad (2)$$

en donde:

r_c = diámetro de la tapa pulg.

P = presión de operación psi

E = eficiencia de soldadura

C = espesor por corrosión

f = esfuerzo permisible psi

t = espesor en pulg.

Datos

$P = 14.7$ psi

$r_c = 150$ pulg.

$f = 15000$ psi

$E = 0.85$

$C = 1/8$ pulg

Sustituyendo datos en (2):

$t = 5/16$ " será el espesor de la tapa torisférica

De otra manera:

$$t = \frac{Pr_c W}{2fE - 0.2P} + C \quad (3)$$

en donde:

$$W = 1/4 \left(3 + \sqrt{\frac{r_c}{r_1}} \right)$$

$$r_1 = 0.06 (D + 2t)$$

Sustituyendo datos:

$$r_1 = 0.06 \sqrt{150 + 2(0.5)} \sqrt{\quad}$$

$$r_1 = 9.06$$

$$W = 1/4 (3 + \sqrt{150/9.06})$$

$$W = 1.77$$

Sustituyendo en (3):

$$t = \frac{(14.7)(150)(1.77)}{2(15000)(0.85) - (0.2)(14.7)}$$

$$t = 5/16" \text{ Comprobación de Cálculo}$$

Espesor de la tapa del fondo tipo circular plana.

$$t = d \sqrt{\frac{C}{Pf}} + C_1 \quad (4)$$

en donde:

t = espesor de la tapa

d = diámetro de la tapa en pulg.

C = factor tipo tapa

f = esfuerzo permisible psi

p = presión hidrostática

C₁ = espesor por corrosión

Datos

d = 162 pulg.

C = 0.30

$$f = 15000 \text{ psi}$$

$$p = 23.3 \text{ psi}$$

$$C_1 = 0.125 \text{ pulg}$$

Sustituyendo datos en (4):

$$t = 0.204 \text{ pulg} + 0.125 \text{ pulg}$$

$$t = 0.329 \text{ pulg}$$

$$t = 5/6 \text{ pulg. espesor de la placa inferior del tanque.}$$

(Ver hoja de datos de especificación de recipiente)

5.2 Diseño del Agitador.

El agitador estará diseñado con las siguientes características:

$$D_a = \text{diámetro de la propela de 4 ft.}$$

$$n = \text{revolución por minuto: 100 RPM}$$

$$L = \text{No. de propelas 3}$$

Datos del líquido que se agitará:

$$\mu = 200 \text{ cp a temperatura de } 155^\circ\text{C}$$

$$\rho = 1.040 \text{ g/cm}^3 = 65 \text{ lb/ft}^3$$

Cálculo de la Potencia del agitador:

$$N_R = \frac{D_a^2 \rho n}{\mu} \quad (5)$$

$$N_{Fr} = \frac{n^2 D_a}{gc} \quad (6)$$

$$P = \frac{\phi N_{Fr}^m n^3 D_a^5}{gc} \quad (7)$$

$$m = \frac{a - \log N_{Re}}{b} \quad (8)$$

en donde:

gc = constante gravitacional 32.2 ft/seg²

N_{Fr} = número de Froude

N_{Re} = número de Reynolds

P = potencia

ϕ = constante de gráfica

a, b = constantes

Sustituyendo datos en (5), (6) y (8):

$$N_{Rc} = \frac{(4)^2 (1.66) (65)}{(0.1344)}$$

$$N_{Re} = 12890$$

$$\phi = 1.035$$

$$N_{Fr} = \frac{(1.66)^2 (4)}{32.2}$$

$$N_{Fr} = 0.342$$

$$= \frac{1.0 - \log 12890}{40.0}$$

$$m = 0.078$$

Sustituyendo en (7):

$$P = \frac{(1.035)(0.342)^{-0.078}(1.66)^3(4)^5(67)}{32.17}$$

$$P = 19.92 \text{ HP}$$

Se recomienda un agitador con motor de 25 HP .

Agitador recomendable Philadelphia tipo 3820-PTS de 25 HP (Ver Fig. 1 y 2)

5.3 Cálculo de la Bomba de Servicio

Para el servicio de bombeo se ha seleccionado una bomba tipo rotatoria, ya que es un líquido muy viscoso a temperatura ambiente, por lo que se bombeará a altas temperaturas.

Debemos de hacer un balance de energía en el sistema que se tiene, desde el punto de descarga del tanque mezclador hasta el punto donde se descargará a los carros tanques que conducirán el asfalto experimental al campo.

Ecuación de Bernoulli para el balance de energía en el Sistema:

$$u_1 + P_1 V_1 + \frac{v_1^2}{2gc} + Z_1 = u_2 + P_2 V_2 + \frac{v_2^2}{2gc} + Z_2 + H_{f5} + W \quad (9)$$

en donde:

u_1, u_2 = energía interna

P_1, P_2 = presión

V_1, V_2 = volumen

v_1, v_2 = velocidad del fluido

gc = constante gravitacional

Z_1, Z_2 = altura sobre el nivel cero

W = trabajo desarrollado por la bomba

$$- W = (Z_2 - Z_1) + H_{f5} \quad (10)$$

Velocidad recomendable 5 ft/seg por ser fluido muy viscoso.

Diámetro tubería 6 pulg cédula 40 acero al carbón.

D_1 = 6.065 in = 0.5054 ft - diámetro interno

D_0 = 6.625 in - diámetro externo

A_i = 0.2006 ft² - área interna

th = 0.280 in - espesor del tubo

Q = gasto volumétrico

$$Q = A_i \bar{v} \quad (11)$$

$$Q = 0.2006 \text{ ft}^2 \times 5 \text{ ft/seg} = 1.003 \text{ ft}^3/\text{seg}$$

$$Q = 450 \text{ GPM}$$

$$G = \text{Gasto másico}$$

$$G = 815 \text{ lb/ft}^2 \text{ seg}$$

$$W = (14 \text{ ft} - 0) + Hf_s$$

$$Hf_s = \frac{f \bar{v}^2 L}{2 g_c D} \quad (12)$$

En donde:

f = factor de Darcy

\bar{v} = velocidad del fluido

D = diámetro de la tubería

g_c = constante gravitacional

L = longitud equivalente

Longitud Equivalente.

Longitud tubería	174 ft
3 codos 90° estándar	42 ft
Una T una dirección	11 ft
Una T con cambio di- rección	33 ft
2 válvulas de compu- er	6.3 ft
ta.	
1 salida del tanque	<u>18.0 ft</u>
TOTAL	284.3 ft

En donde:

N_{Re} = número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{D v \rho}{\mu} \quad (13)$$

μ = viscosidad del fluido

D = diámetro de la tubería

v = velocidad del fluido

ρ = densidad del fluido

Datos

μ = 200 cp

D = 0.5054 pulg

v = 5 ft/seg

ρ = 65 lb/ft³

Sustituyendo datos en (13):

$N_{Re} = 1220$

f = 0.052 de gráfica factor Darcy Vs N_{Re}

Sustituyendo datos en (12):

$$H_{f_s} = \frac{(0.052) (5)^2 (284.3)}{(2) (32.2) (0.5054)}$$

$H_{f_s} = 11.55$ ft

Sustituyendo datos en (10):

$$W = 14 + 11.55$$

$$W = 25.55 \text{ ft trabajo efectuado por la bomba}$$

Cálculo de la Potencia de la Bomba.

$$\text{BHP} = \frac{G \times H}{k n} \quad (14)$$

En donde:

BHP = potencia al freno

G = velocidad de masa del fluido

K = factor de corrosión

n = eficiencia del motor

Datos

$$G = 320 \text{ lb/ft}^2 \text{ seg}$$

$$H = 25 \text{ ft}$$

$$K = 550 \text{ ft-lb/seg}$$

Sustituyendo datos en (14):

$$\text{BHP} = 24.1 \text{ HP}$$

Se recomienda un motor de 30 HP para la bomba debido a la eficiencia mecánica.

Cálculo del NPSHa de la bomba

$$\text{NPSHa} = \frac{2.31 (P_1 - P_v)}{\text{s.g.}} + Z - H_{f_s} \quad (15)$$

En donde:

P_1 = presión de operación en el punto 1. psía.

P_v = presión de vapor del líquido psía.

s.g. = densidad relativa

Z = altura sobre el nivel considerado

H_{f_s} = pérdida por fricción

$$N_{Re} = \frac{D \rho v}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{(.5054) (5) (65)}{(200) (6.73 \times 10^{-4})}$$

$$N_{Re} = 1220$$

$$f = 0.052$$

Longitud Equivalente

Tubería lineal considerada	100 ft
1 salida	6.3 ft
1 válvula de compuerta	18.0 ft
1 T una sola dirección	<u>11.0 ft</u>
TOTAL	135.3 ft

$$H_{f_s} = \frac{f v^2 L}{2 g_c D}$$

$$H_{fs} = \frac{(0.052)(5)^2(135.3)}{(2)(32.2)(0.5054)} = 54 \text{ ft}$$

Sustituyendo datos en (15):

$$NPSH_a = \frac{2.31(11.3)}{1.04} - 5.4 \text{ ft}$$

$$NPSH_a = 24.4 - 5.4$$

$$NPSH_a = 19 \text{ ft de líquido}$$

Haciendo dos balances de energía antes y después de la bomba obtenemos las presiones de succión y descarga de la -- misma respectivamente.

Presión de succión 21.6 ft de líquido o sea 10.0 psi

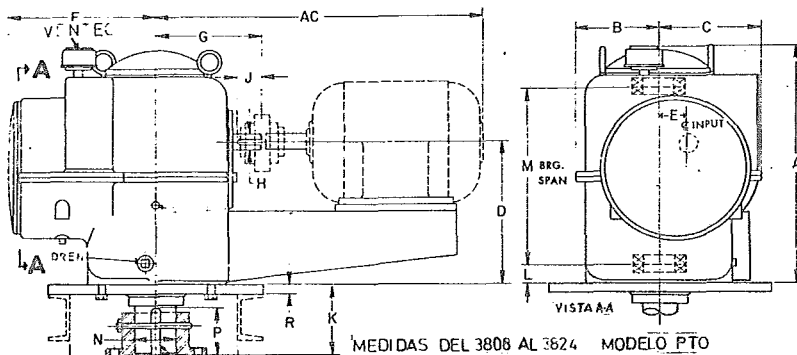
Presión de descarga 30.0 ft de líquido o sea 14 psi

La curva del sistema estará dada por:

Q GPM:	0	200	300	350	400	450	500	550	600	650
H ft :	14.0	18.9	21.6	22.9	24.0	25.55	26.6	28.1	29.5	30.6
Q GPM:	700	750	800	850	900	1000				
H ft :	31.9	33.0	34.2	35.7	37.0	39.0				

Nota: Ver hoja de Especificaciones de Bombas de Desplazamiento Positivo.

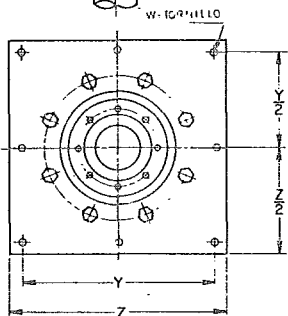
DIMENSIONES DEL MEZCLADOR PHILADELPHIA



DIMENSIONES DEL SISTEMA DE 1 ENGRANES REDUCTORES Y FLECHA

	3804	3808	3810	3812	3816	3820	3824
A	27	28 1/2	29	29 1/2	30 1/2	31 1/2	32
B	8 1/4	8 1/4	8 1/4	8 1/4	8 1/4	8 1/4	8 1/4
C	4 1/2	4 1/2	4 1/2	4 1/2	4 1/2	4 1/2	4 1/2
D	7 1/2	7 1/2	7 1/2	7 1/2	7 1/2	7 1/2	7 1/2
E	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2
F	8	8	8	8	8	8	8
G	7 1/2	7 1/2	7 1/2	7 1/2	7 1/2	7 1/2	7 1/2
H	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
J	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
K.S.	1/2 x 3/4	1/2 x 3/4	1/2 x 3/4	1/2 x 3/4	1/2 x 3/4	1/2 x 3/4	1/2 x 3/4
M	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2
N	2	2	2	2	2	2	2
P	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2
K.S.	1/2 x 3/4	1/2 x 3/4	1/2 x 3/4	1/2 x 3/4	1/2 x 3/4	1/2 x 3/4	1/2 x 3/4
T	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
U	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
V	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2

T = 6 1/4" P.T.O.
 V = 1 1/2" P.T.O.



DIMENSIONES DE LA SECCION MAS BAJA

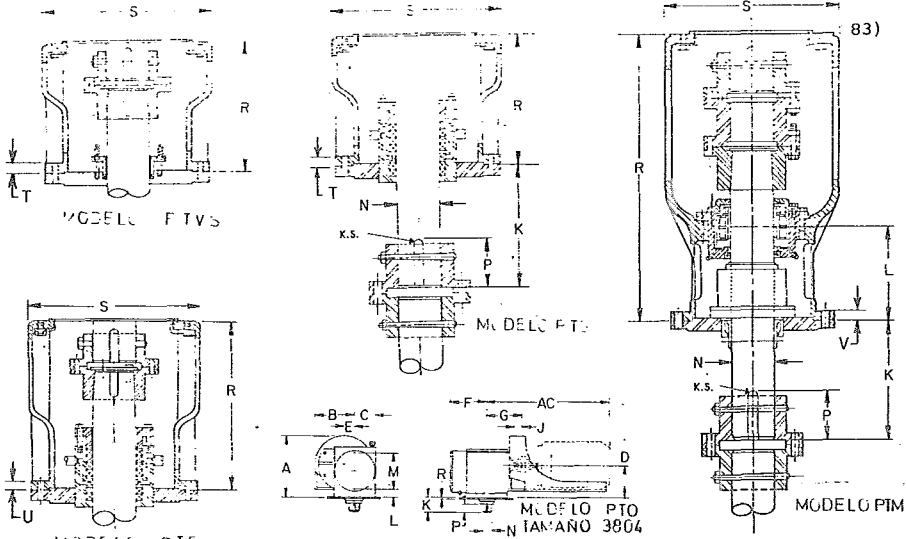
	3804	3808	3810	3812	3816	3820	3824
R	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
S	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
W	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
Y	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
Z	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2

	3804				3808				3810			
	PTO	P.T.V.	P.T.S.	P.T.S.S.	PTO	P.T.V.	P.T.S.	P.T.S.S.	PTO	P.T.V.	P.T.S.	P.T.S.S.
K	3	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
L	2 1/2	3 1/2	4 1/2	5 1/2	3 1/2	4 1/2	5 1/2	6 1/2	4 1/2	5 1/2	6 1/2	7 1/2
R	1 1/2	2 1/2	3 1/2	4 1/2	2 1/2	3 1/2	4 1/2	5 1/2	2 1/2	3 1/2	4 1/2	5 1/2
S	9 1/2	11	12 1/2	14 1/2	10 1/2	12 1/2	14 1/2	16 1/2	11 1/2	13 1/2	15 1/2	17 1/2

P.T.O. = PUNTO DE ENGRANE

	Standard				ASA				Minimum			
	5"	6"	8"	10"	5"	6"	8"	10"	5"	6"	8"	10"
Standard	5"	6"	8"	10"	5"	6"	8"	10"	5"	6"	8"	10"
ASA	5 1/2"	6 1/2"	8 1/2"	10 1/2"	5 1/2"	6 1/2"	8 1/2"	10 1/2"	5 1/2"	6 1/2"	8 1/2"	10 1/2"
Minimum	5"	6"	8"	10"	5"	6"	8"	10"	5"	6"	8"	10"

FIG. 1



DIMENSIONES TOTALES DE LOS MOTORES Y PESOS COMPLETOS

3804

MOTOR HP	FRAME	A	AC	B	PTD	PTS	PTM
10	3550	25.4	37.8	5.4	257	257	257
15	2810	15.7	30.4	3.4	205	205	205
5	2115	12.7	25.4	2.5	151	151	151
3	2115	12.7	25.4	2.5	151	151	151
2	1821	12.7	22.9	2.5	142	142	142
1	1821	12.7	22.9	2.5	142	142	142

3808

MOTOR HP	FRAME	AC	PTD	PTS	PTM
20	2880	25.4	1120	1163	1120
15	2840	25.4	1120	1163	1120
10	2560	33.4	1120	1163	1120
7.5	2540	31.4	1120	1163	1120
5	215	38	1170	1240	1170
3	173	28.6	1120	1160	1120
2	184	43.6	1190	1238	1190

3810

MOTOR HP	FRAME	AC	PTD	PTS	PTM
30	3760	41.4	1770	1830	1770
25	3640	40.4	1763	1820	1763
20	2850	38.6	1720	1785	1720
15	2840	37	1733	1805	1733
10	2540	35.4	1745	1820	1745
7.5	2540	33.4	1850	1870	1850
5	215	39.4	1930	2000	1930
3	312	28.6	2020	2100	2020

3812

MOTOR HP	FRAME	AC	PTD	PTS	PTM
50	3950S	41.4	1770	1830	1770
40	361	44.4	1770	1830	1770
30	315	42.4	1770	1830	1770
25	3270	41.4	1770	1830	1770
20	2715	42.4	1770	1830	1770
15	2840	38.4	1770	1830	1770
10	2540	38	1770	1830	1770
7.5	2340	33.4	1770	1830	1770
5	215	32.4	1770	1830	1770

3816

MOTOR HP	FRAME	AC	PTD	PTS	PTM
75	4445S	50.4	1920	1970	1920
50	4095S	47.4	1920	1970	1920
40	3640	45.4	1920	1970	1920
30	3240	41.4	1920	1970	1920
25	3140	39.4	1920	1970	1920
20	2840	41.4	1920	1970	1920
15	2840	37.4	1920	1970	1920
10	2560	39.4	1920	1970	1920

3820

MOTOR HP	FRAME	AC	PTD	PTS	PTM
125	*	*	*	*	*
100	4445S	55.4	1970	2020	1970
75	4145S	53.4	1970	2020	1970
60	3735S	51	1970	2020	1970
50	3635S	47.4	1970	2020	1970
40	3544	46.4	1970	2020	1970
30	314	42.4	1970	2020	1970
25	314	46.4	1970	2020	1970
20	2840	44.4	1970	2020	1970
15	2540	42.4	1970	2020	1970

1 FIC: APROXIMADAMENTE EL CLADRO COMPLETO ABAJANDO EL MOTOR DEL TAMAÑO DEL MOTOR APLICADO

3812

PTVS	PTS	PTSS	PTM	PTD	PTVS	PTS	PTSS	PTM	PTD	PTVS	PTS	PTSS	PTM
14	1	1	1	1	14	1	14	1	1	14	1	14	1
17	1	1	1	1	17	1	17	1	1	17	1	17	1
14	1	1	1	1	14	1	14	1	1	14	1	14	1
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

3816

PTVS	PTS	PTSS	PTM	PTD	PTVS	PTS	PTSS	PTM	PTD	PTVS	PTS	PTSS	PTM
14	1	1	1	1	14	1	14	1	1	14	1	14	1
17	1	1	1	1	17	1	17	1	1	17	1	17	1
14	1	1	1	1	14	1	14	1	1	14	1	14	1
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

3820

PTVS	PTS	PTSS	PTM	PTD	PTVS	PTS	PTSS	PTM	PTD	PTVS	PTS	PTSS	PTM
14	1	1	1	1	14	1	14	1	1	14	1	14	1
17	1	1	1	1	17	1	17	1	1	17	1	17	1
14	1	1	1	1	14	1	14	1	1	14	1	14	1
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

RECOMENDABLES

10"	10"	13"	13"	17"	17"	17"	20"	20"	20"	20"	20"
150x	150x	150x	150x	150x	150x	150x	150x	150x	150x	150x	150x
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

FIG. 2

PLANTA DE A. F. L. O.	CONTRATO No.	HOJA DE
LOCALIZACION	REQUISICION No.	FECHA
CLAVE	HECHA POR	APROBADA POR
No UNIDADES		

BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO
HOJA DE ESPECIFICACIONES

SERVICIO BOMBEO DE ASFALTO	ACCIONADOR VAPOR DE TURBINA
No REQ EN USO CONTINUO	ACCIONADOR
No REQ DE RELEVOS	TAMANO Y TIPO ROTATORIA
FABRICANTE	

CONDICIONES DE OPERACION	DATOS DEL FABRICANTE	
FLUIDO: HIPOCABBUPO	MODELO	
TEMP. DE BOMBEO: 150/160°C, PRES. VAPOR @ T.B. DESP.	TIPO DE TRANSMISION	
VISCOSIDAD @ T.B.: 200 Cp, GRAV. ESPECIFICA: 1.04	RELACION DE VELOCIDAD	
FACTORES DE EROSION O CORROSION: Cor. p. 5.0/100	DIAM. INT. DEL CILINDRO CARRERA	
CAPACIDAD GP. MAX: 450 MIN: 100 NORM: 400	EMBOLODAS/MIN/CILINDRO	
PRES. SUCCION, Kg./cm. man. MAX: 10.0 MIN. NORM	PRES. DE TRABAJO MAX. Kg./cm. man.	
PRES. DESCARGA, Kg./cm. man. MAX: 14.0 MIN. NORM	VALVULAS SUCCION DESCARGA	
NPSH DISPONIBLE: 4.4 REQ	TIPO	
BHP DE DISEÑO: 30 HP	NUMERO	
PRUEBA HIDROSTATICA: SI	AREA, cm ²	
MATERIALES DE CONSTRUCCION		
PTES. DEL LADO DE LIQUIDO	TAMANO DEL EMPAQUE VALV. TIPO	
EMBOLO ROTOR	TIPO DE EMPAQUETADURA	
CARCASA ACERO AL CARBON	SELLO MECANICO	
PRESA-ESTOPA	MOTOR	
METALES ANTIFRICCION DE BIELA	ELECTRICO <input type="checkbox"/> DE GAS <input type="checkbox"/> DE AIRE <input type="checkbox"/>	
ENGRANES	DE VAPOR <input type="checkbox"/> DE COMBUSTION INTERNA <input type="checkbox"/>	
VALVULAS SUCCION DESCARGA	FABR. Y TIPO	
ASIENTOS DE VALVULAS	VEL. CONSTANTE <input checked="" type="checkbox"/> VEL. VARIABLE <input type="checkbox"/>	
MUELLES DE VALVULAS TIPO	BHP MAX. RPM MAX.	
EMPAQUE DE VALVULAS DE CABEZA	FASES CICLOS VOLTS	
DIAPHRAGMA	ENCAPSULAMIENTO CORAZA No.	
ANILLO DE CIERRE HIDR	POTENCIA CONSUMIDA KW.	
BASE (SI/NO) TIPO INTEGRAL	CILINDRO DE POTENCIA: DIAM. CARRERA	
CONEXIONES TAMANO TIPO SFRIE SUCCION DESCARGA INTERPASO DRENES PURGAS DE GASES NUM DIAM. PURGAS DE LIQUIDOS NUM DIAM. MISCELANEOS		
MOTOR PRES. DE SUMINISTRO DEL VAP. GAS O AIRE: 250# PRES. ESCAPE 150# CONSUMO DE VAP. GAS O COMB. A VEL. MAX. CONTROL DE VEL.: ELEC. <input type="checkbox"/> NEUMAT. <input type="checkbox"/> MANUAL <input checked="" type="checkbox"/> POR TURBINA AUTOMATICO <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> INTERVALO DE VELOCIDAD, % REDUCT. DE VEL.: INTEGRADO <input type="checkbox"/> SEPARADO <input type="checkbox"/> INDICADOR DE VEL.: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> REMOTO <input type="checkbox"/> LOCAL <input type="checkbox"/>		
LUBRICACION		
AJUSTE DE LA CARRERA		
MANUAL <input type="checkbox"/> AUTO <input type="checkbox"/> EN OPERACION <input type="checkbox"/> PARADA <input type="checkbox"/> REMOTO <input type="checkbox"/> LOCAL <input type="checkbox"/> SEÑAL. NEUMAT. <input type="checkbox"/> ELECT. <input type="checkbox"/> HIDRAUL. <input type="checkbox"/>		
OBSERVACIONES		
REVISION _____ FECHA _____ DEP. PROC _____ DEP. MEC _____		

- EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO -
DISCOUNTED CASH FLOW METHOD

Año	Descripción	Utilidad Bruta Antes de I y D.	Depreciación	Utilidad Bruta	42 % Impuesto	Utilidad Neta	Cash Flow	Año	20 %		15 %	
									Factor	Cash Flow	Factor	Cash Flow
1974	Inversión Activo (Maq., Equipo, Ingeniería, Etc.)						(8,982,900)	1 - 0	1.107	(9,944,070)	1.079	(9,692,550)
1974	Capital de Trabajo						(10,575,000)	0 - 1	0.906	(9,580,950)	0.929	(9,824,175)
							(19,557,900)			(19,525,020)		(19,516,725)
								0				
1974	Resultado de operaciones	3,801,400	816,627	2,984,773	1,253,605	1,731,168	2,547,795	0 - 1	0.906	2,308,302	0.929	2,366,902
1975	" " "	5,011,220	816,627	4,194,573	1,761,729	2,432,864	3,249,491	1 - 2	0.742	2,411,122	0.799	2,596,343
1976	" " "	6,031,750	816,627	5,215,123	2,190,352	3,024,775	3,841,402	2 - 3	0.608	2,335,572	0.688	2,642,885
1977	" " "	6,282,920	816,627	5,466,273	2,295,835	3,170,438	3,987,065	3 - 4	0.497	1,981,571	0.592	2,360,342
1978	" " "	5,986,220	816,627	5,169,593	2,171,229	2,998,364	3,814,991	4 - 5	0.407	1,552,701	0.510	1,945,645
1979	" " "	7,913,060	816,627	7,096,433	2,980,502	4,115,931	4,932,558	5 - 6	0.333	1,642,242	0.439	2,165,393
1980	" " "	7,539,420	816,627	6,722,793	2,823,573	3,899,220	4,715,847	6 - 7	0.273	1,287,426	0.378	1,782,590
1981	" " "	7,539,420	816,627	6,722,793	2,823,573	3,899,220	4,715,847	7 - 8	0.224	1,056,350	0.325	1,532,650
1982	" " "	7,539,420	816,627	6,722,793	2,823,573	3,889,220	4,715,847	8 - 9	0.183	863,000	0.280	1,320,437
1983	" " "	7,539,420	816,627	6,722,793	2,823,573	3,889,220	4,715,847	9 - 10	0.150	707,377	0.241	1,137,715
1983	Rescate		816,630				816,630	9 - 10	0.150	122,495	0.241	196,808
1983	Recuperación Cap. Trabajo						10,575,000	9 - 10	0.150	1,586,250	0.241	2,548,575
										17,854,408		22,596,285
T O T A L:		48,035,064	8,982,900	57,017,964	23,947,544	33,070,420	33,070,420			(1,670,612)		3,079,560

Tiempo de recuperación de la inversión

$$\% \text{ Rentabilidad} = \frac{3,079,560 \times 5}{3,079,560 + 1,670,612} + 15 =$$

$$\frac{15,397,800}{4,750,172} + 15$$

Año	"Cash Flow" anual	Acumulado
1974	2,547,795	2,547,795
1975	3,249,491	5,797,286
1976	3,841,402	9,638,688

$$= 15 + 3.24 = \underline{\underline{18.24 \%}}$$

Recuperación excluyendo capital de trabajo

$$\text{Número de Años} = 2 + \frac{8,982,900 - 5,797,286}{3,841,402} = 2 + 0.83$$

$$\underline{\underline{\text{Número de Años} = 2.83}}$$

- ANALISIS ECONOMICO -

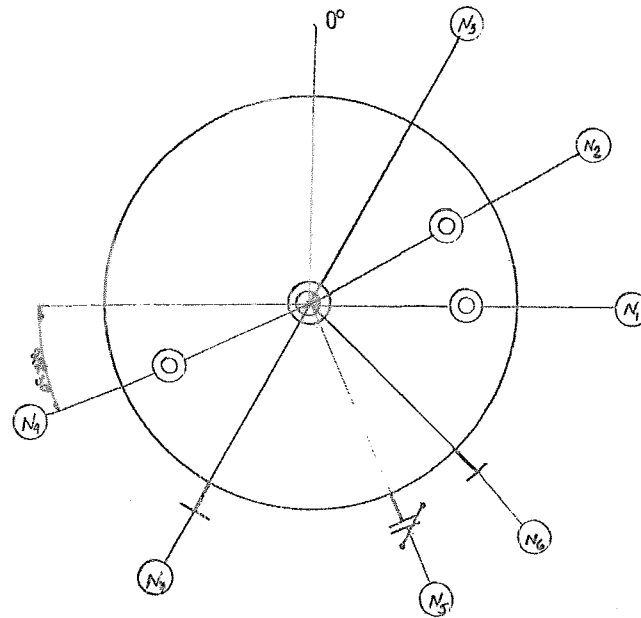
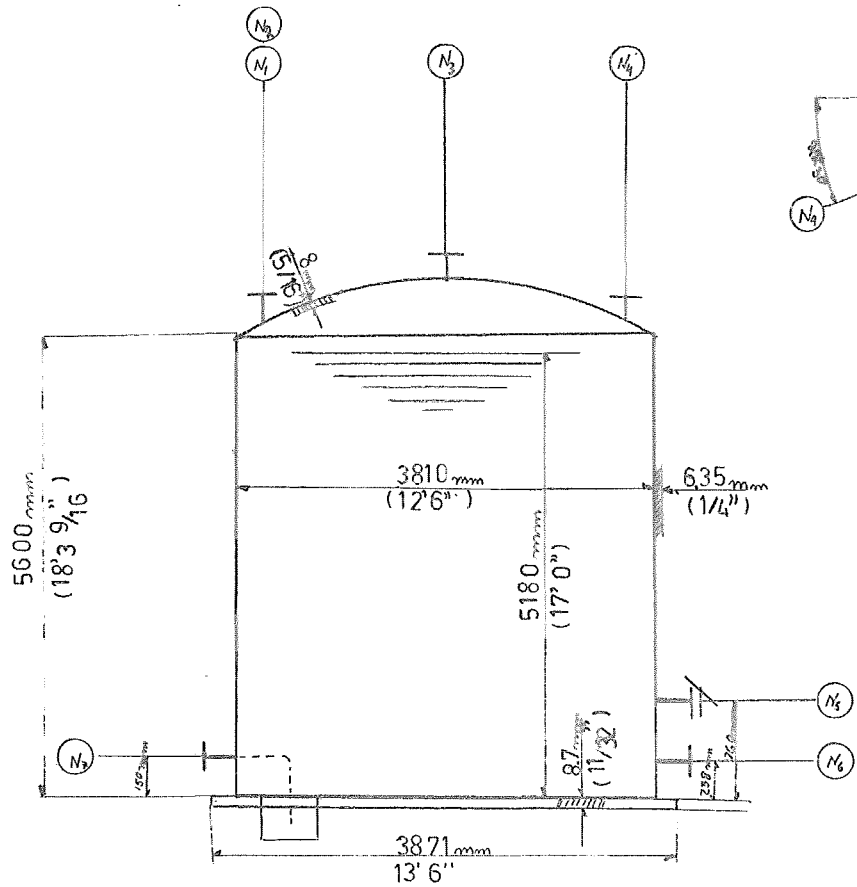
MANEB

	Kg. Maneb Nacional	Precio \$/Kg.	Venta Bruta (\$)	Kg. Maneb Exp.	Precio \$/Kg.	Venta Bruta (\$)	Total Venta Bruta Maneb	4% Imp. S.I.M.	Devoluc. Bonif.	15% Com. S/Ventas	Total Deducciones	Ventas Netas	Costo Producc.	Costo de lo Vendido.
1974	300,000	21.00	6,300,000	700,000	10.30	7,210,000	13,510,000	540,400	540,400	2,026,500	3,107,300	10,402,700	8.95	8,950,000
1975	400,000	21.00	8,400,000	600,000	10.81	6,486,000	14,886,000	595,440	595,440	2,232,900	3,423,780	11,462,220	9.40	9,400,000
1976	500,000	21.00	10,500,000	500,000	11.35	5,675,000	16,175,000	647,000	647,000	2,426,250	3,720,250	12,454,750	9.87	9,870,000
1977	500,000	22.00	11,000,000	500,000	11.92	5,960,000	16,960,000	687,400	687,400	2,544,000	3,900,800	13,059,200	10.36	10,360,000
1978	500,000	22.00	11,000,000	500,000	12.51	6,250,000	17,250,000	690,000	690,000	2,587,500	3,967,500	13,282,500	10.88	10,880,000
1979	600,000	23.00	13,800,000	400,000	13.13	5,252,000	19,052,000	762,080	762,080	2,857,800	4,381,960	14,670,040	11.42	11,420,000
1980	600,000	23.00	13,800,000	400,000	13.80	5,520,000	19,320,000	772,800	772,800	2,898,000	4,442,600	14,876,400	12.00	12,000,000
1981	600,000	23.00	13,800,000	400,000	13.80	5,520,000	19,320,000	772,800	772,800	2,898,000	4,443,600	14,876,400	12.00	12,000,000
1982	600,000	23.00	13,800,000	400,000	13.80	5,520,000	19,320,000	772,800	772,800	2,898,000	4,443,600	14,876,400	12.00	12,000,000
1983	600,000	23.00	13,800,000	400,000	13.80	5,520,000	19,320,000	772,800	772,800	2,898,000	4,443,600	14,876,400	12.00	12,000,000

ZINEB

1974	400,000	22.00	8,800,000	600,000	10.85	6,510,000	15,310,000	612,400	612,400	2,296,500	3,521,300	11,788,700	9.44	9,440,000
1975	500,000	22.00	11,000,000	500,000	11.40	5,700,000	16,700,000	668,000	668,000	2,505,000	3,841,000	12,859,000	9.91	9,910,000
1976	600,000	22.00	13,200,000	400,000	11.96	4,784,000	17,984,000	719,360	719,360	2,697,600	4,136,320	13,847,680	10.40	10,400,000
1977	600,000	23.10	13,860,000	400,000	12.44	4,976,000	18,836,000	753,440	753,440	2,825,400	4,332,280	14,503,720	10.92	10,920,000
1978	600,000	23.10	13,860,000	400,000	12.44	4,976,000	18,836,000	753,440	753,440	2,825,400	4,332,280	14,503,720	10.92	10,920,000
1979	700,000	24.25	16,975,000	300,000	13.17	3,951,000	20,926,000	837,040	837,040	3,138,900	4,812,900	16,113,020	11.45	11,450,000
1980	700,000	24.25	16,975,000	300,000	13.17	3,951,000	20,926,000	837,040	837,040	3,138,900	4,812,900	16,113,020	11.45	11,450,000
1981	700,000	24.25	16,975,000	300,000	13.17	3,951,000	20,926,000	837,040	837,040	3,138,900	4,812,900	16,113,020	11.45	11,450,000
1982	700,000	24.25	16,975,000	300,000	13.17	3,951,000	20,926,000	837,040	837,040	3,138,900	4,812,900	16,113,020	11.45	11,450,000
1983	700,000	24.25	16,975,000	300,000	13.17	3,951,000	20,926,000	837,040	837,040	3,138,900	4,812,900	16,113,020	11.45	11,450,000

	MANEB	ZINEB	
	Utilidad		Total
	Bruta	Idem	Idem
	Ant.Dep.Imp		
1974	1,452,700	2,348,700	3,801,400
1975	2,062,220	2,949,000	5,011,220
1976	2,584,750	3,447,000	6,031,750
1977	2,699,200	3,583,720	6,282,920
1978	2,402,500	3,583,720	5,986,220
1979	3,250,040	4,663,020	7,913,060
1980	2,876,400	4,663,020	7,539,420
1981	2,876,400	4,663,020	7,539,420
1982	2,876,400	4,663,020	7,539,420
1983	2,876,400	4,663,020	7,539,420



LISTA DE BOQUILLAS		
Nº	dia. mm.	DESCRIPCION
1	51	Indicador de Nivel
2	101	Venteo
3	504	Agitador
4	152	Alimentación
5	504	Registro y Tapa Pte.
6	152	Descarga de Asfalto
7	76	Drenaje

NOTAS GENERALES	
1.-	CAPACIDAD 72m ³
2.-	CORROSION PERMISIBLES 3mm.
3.-	MATERIAL TIPO A-268-TP410
4.-	DENSIDAD DEL FLUIDO 1.04g/cm ³

TESIS PROFESIONAL	TANQUE MEZCLADOR DE ASFALTO	FACULTAD DE QUIMICA
HIRAM RODRIGUEZ P.		U. N. A. M.

C A P I T U L O 6

ESTUDIO ECONOMICO DE LA PRODUCCION DE
ASFALTO EXPERIMENTAL6.1 Recuperación Económica al obtener el Asfalto
Experimental.

Al mezclar el residuo LD de la Planta Desasfaltadora con propano y los extractos aromáticos, se obtuvo un asfalto No.6 con un peso específico superior al correspondiente asfalto No.6 de producción nacional, por lo cual se consideró conveniente - realizar una evaluación económica, ya que dicho asfalto se expende al mercado por volumen. Asimismo los componentes del asfalto experimental actualmente se envían a venta para producir combustóleo pesado cuyo precio de venta es diferente al del asfalto No.6.

Se adjunta la estimación económica para los asfaltos y para los componentes de la mezcla experimental cuando se utiliza como combustóleo.

Asfalto No.6 de Producción Nacional

Peso específico a 20/4°C	=	1.026
Precio de Venta	=	\$191.25/m ³
	=	\$186.40/Ton.

Asfalto Experimental (70% Residuo
Desasfaltadora + 30% Mezcla Extrao
to Aromático).

Peso específico 20/4°C	=	1.040
Precio de Venta	=	\$191.25/m ³
	=	\$183.89/Ton

Precio de Venta como compo nente de combustóleo pesa- do.	=	\$117.05/m ³
	=	\$112.55/Ton

La recuperación económica, considerando las condiciones actuales de venta de los componentes del asfalto experimental como combustóleo y como asfalto No.6, sería la siguiente:

Recuperación económica	=	\$191.25/m ³	-	\$117.05/m ³
	=	\$ 74.20/m ³		
	=	\$183.89/Ton	-	\$112.55/Ton
	=	\$ 71.34/Ton		

La producción anual de asfalto No.6 es de aproximadamente 118,939 m³ equivalente a 124,000 toneladas.

Tomando en cuenta que la producción de asfalto No.6 de consumo nacional es la misma que la del asfalto experimental, - se tendría un ingreso de:

$$= 124,000 \text{ Ton} \times \$ 71.34/\text{Ton}$$

$$= \$ 8,846,160.00 \text{ MN (sin incluir gastos generales que son mínimos en comparación del ingreso).}$$

6.2 Balance Económico.

Para producir el asfalto No.6 mejorado es necesario hacer un balance económico, considerando que para su elaboración se requiere un sistema de mezclado especial, el cual, le dará la calidad al producto.

La inversión total que se tiene por cada unidad de mezclado será la suma de la inversión fija y el costo de instalación del equipo.

La inversión fija para el equipo utilizado por cada unidad de mezclado, carga y descarga es el siguiente:

<u>Equipo</u>	<u>Inversión Fija *</u>
Recipiente de 12.5 ft de diám. por 18.4 ft de altura. Acero al carbón.	\$ 75,000.00
Agitador mecánico tipo Philadelphia PTS-3820, 25 HP. incluyendo motor eléctrico	\$ 30,000.00
Bomba rotatoria de engranes; material: cuerpo-acero al -- carbón, flecha-acero al car bón, impulsor-fierro fundi- do. Potencia 30 HP	\$ 56,000.00
Turbina de vapor para el ser- vicio mecánico de la bomba rotatoria.	\$ 32,000.00

Tubería y accesorios, así como bridas, del sistema de carga y descarga.	\$ 28,860.00
Venas de vapor para las líneas. Material cobre; de 13 mm de - diám. y trampas de vapor.	\$ 2,500.00
Aislamiento térmico para protec- ción de personal, para el tan- que mezclador y tubería. Tipo fibra de vidrio de 25 mm de - espesor.	\$ 9,930.00
Instrumento de Temperatura: Termómetro de bulbo largo	\$ 700.00
Costo fijo del equipo por unidad de mezclado.	\$ 234,810.00

Inversión para la instalación del equipo por unidad de
mezclado.

<u>Equipo</u>	<u>Inversión por Instalación *</u>
Recipiente (considerando el - 30% de su costo fijo).	\$ 22,500.00
Agitador mecánico (20% del costo fijo).	\$ 6,000.00
Bomba rotatoria con la turbina acoplada (30% de su costo -- fijo).	\$ 26,400.00
Tubería, accesorios. (60% del costo fijo).	\$ 17,200.00

Aislamiento en tubería y el tanque (10% de la inversión fija).	\$ 1,000.00
Costo por instalación del equipo por unidad de mezclado.	\$ 73,850.00
Inversión Total x Unidad = Inversión Fija + Inversión de Instalación.	
	= \$234,810.00 + 73,850.00
	= \$308,660.00 M.N.
Partes de repuesto, se considera un 10% del costo del equipo.	\$ 30,866.00

Al sistema de mezclado se le proporcionará como medio de precaución una bomba rotatoria de repuesto, siendo su costo de:

\$ 88,000.00

La inversión para cada unidad de mezclado será aproximadamente:

$$\begin{aligned}
 &= \text{Inversión Total} + \text{Partes de Repuesto} \\
 &= \$ 308,660.00 + \$ 30,866.00 \\
 &= \$ 339,526.00
 \end{aligned}$$

Costo de las 5 Unidades que Constituyen el Sistema de Mezclado:

\$ 1,785,630.00
=====

* Datos tomados de cartas y gráficas, así como consideraciones del Departamento de Programación y Costos del Instituto Mexicano del Petróleo.

6.3 Costos de Fabricación.

Se dividen en tres tipos:

- I. Gastos de Fabricación Directos
- II. Gastos de Fabricación Indirectos
- III. Gastos Fijos

Gastos de Fabricación Directos.- Son aquellos que comprenden específicamente la producción. Estos gastos a su vez se subdividen en:

- a) Materia Prima
- b) Mano de obra
- c) Supervisión
- d) Mantenimiento
- e) Suministros
- f) Regalías
- g) Servicios

De todos los anteriores los que influyen directamente en la producción del asfalto mejorado son:

Materia Prima
Mantenimiento
Servicios

En los demás renglones no se toman en cuenta para la producción porque en el tiempo muerto que se tenga de carga y descarga en cada unidad de mezclado los costos seguirán existiendo.

El costo de la Materia Prima es de $\$117.05/m^3$, es decir $\$112.55/Ton$, este costo es el ofrecido como componente de combustóleo pesado, como tenemos 124,000 Ton/año se tendrá un gasto de:

$$\begin{aligned} &= 124,000 \text{ Ton/año} \times \$112.55/\text{Ton} \\ \text{Costo de Materia Prima} &= \$13,900,000.00/\text{año}. \end{aligned}$$

El costo de Mantenimiento es de un 5% de la inversión total, en nuestro caso será de $\$89,281.00$. Suministro no habrá, ya que no se tendrán aparatos automáticos.

Respecto a los Servicios, se necesita energía eléctrica para el agitador mecánico y vapor para las turbinas de las bombas. Para el cálculo del consumo de electricidad se consideró un factor de servicio de 0.6.

$$\begin{aligned} \text{Consumo de Energía Eléctrica/año} &= 5 \times 25 \text{ HP} \times 0.746 \text{ Kw/HP} \times \\ &10 \text{ hr/día} \times 0.6 \times 300 \text{ días/año} \\ &= 169,000 \text{ Kw hr/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{El precio por Kw hr es de} & \$ 0.20, \\ \text{el gasto anual por este} & \\ \text{concepto será de:} & \$ 33,800.00 \end{aligned}$$

El vapor sobrecalentado -
utilizado para las turbinas es de: 250 psig, 500°F

cuyo costo por Ton. es de: \$9.00; como el consumo anual
 es de: 83,500 Ton., se tendrá:
 = \$9.00/Ton x 83,500 Ton.
 Costo Vapor de Turbinas = \$800,000/Año.

Para el calentamiento se usa el mismo tipo de vapor para los serpentines; se calculó en \$4,360,000.00/año el total de consumo de vapor para este servicio.

El costo total de los servicios será:	Energía Eléctrica +	Vapor de Turbinas +	Vapor de Calentamiento
	= \$ 5,193,800.00		

La mano de obra estará sostenida por 3 operadores y 3 ayudantes, con un salario de \$100.00/día al operador y - - - \$60.00/día al ayudante, costo que incrementa a \$160.00 diarios para tener un total de:

= \$ 160.00/día x 365 días
 = \$ 64,000.00/año

Los costos de Fabricación Directos quedan resumidos en:

a) Materia Prima	\$ 13,900,000.00
b) Mano de Obra	\$ 64,000.00
c) Supervisión	\$ 0.00
d) Mantenimiento	\$ 89,281.00
e) Suministros	\$ 0.00
f) Regalías	\$ 0.00
g) Servicios	\$ <u>5,193,800.00</u>

Gastos de Fabricación
 Directa \$ 19,247,081.00/Año.

Gastos de Fabricación Indirectos.- Son aquellos que se incurren como resultado de las operaciones de producción pero no directamente y se agrupan de la manera siguiente:

- 1) Gastos de Administración
- 2) Prestaciones
- 3) Laboratorio
- 4) Prestaciones en Planta
- 5) Empaque
- 6) Embarque

De los renglones anteriores no varía, ya que todo está controlado por la misma planta productora de los componentes de muestra mezcla, en cuanto embarque del producto corre a cuenta del cliente, ya que el producto es expendido en la -- planta.

Los gastos fijos serán la inversión inicial y el que -- permanece igual sin importar la producción. Estos gastos están dados por la siguiente lista:

- 1) Depreciación
- 2) Impuesto a la Propiedad
- 3) Seguros de la Planta

Para nuestro caso sólo interviene el primer renglón, el cual se calculará por el método de la línea Directa, es decir, un 10% de la inversión total; así el incremento en gastos fijos es el siguiente:

Depreciación	\$ 178,600.00
Impuesto de la Propiedad	0.00
Seguros de la Planta	<u>0.00</u>
Incremento de Gastos Fijos	\$ <u>178,600.00/Año</u>

El incremento de los gastos de fabricación total es - - igual a la suma de Gastos Directos, Gastos Indirectos y Gastos Fijos, lo cual da el siguiente resultado:

$$\begin{aligned}
 G_F &= G_d + G_i + G_f \\
 &= \$19,247,081.00 + 0.00 + \$178,600.00 \\
 G_F &= \$19,425,681.00
 \end{aligned}$$

6.4 Gastos Generales

Son aquellos gastos incurridos que no son de manufactura, se clasifican en:

- a) Gastos de Administración General
- b) Ventas
- c) Investigación
- d) Financiamiento

Los gastos de venta están dados por los gastos de venta propiamente dichos (publicidad, sueldo y comisión en vendedores, etc.) e impuestos mercantiles; en nuestro caso no se tiene un gasto en este tipo de venta, y el que se tiene es mínimo.

El gasto que nos interesa en este caso es el de investigación, el cual se considera un 0.6% del total de la venta de nuestro producto.

Los gastos de administración serán mínimos ya que estarán dentro de la atención de las plantas que producen la materia prima.

En sí, el incremento en gastos generales estará dado por la siguiente tabla:

a) Gastos de Venta	\$	0.00
b) Gastos de Administración		0.00
c) Gastos de Investigación		60,000.00
d) Financiamiento		<u>0.00</u>
Incremento de Gastos Generales	\$	<u>60,000.00/Año</u> =====

Resumiendo los gastos totales del sistema de mezclado para la elaboración del Asfalto No.6 Mejorado o, sea el Asfalto Experimental será:

$$\begin{array}{rcc} \text{Incremento} & & \text{Incremento} & & \text{Incremento} \\ \text{Gastos Totales (G}_T) & = & \text{Gastos de} & + & \text{Gastos Generales} \\ & & \text{Fabricación} & & \end{array}$$

$$AG_T = AG_F + AG_G.$$

Haciendo nuestro balance económico tendremos:

Costos Totales
(Período Anual 300 días hábiles)

Ventas				\$ 22,800,000.00
Gastos de Fabricación (G _F)		\$19,425,681.00		
Gastos Generales (G _G)		<u>60,000.00</u>		
Gastos Totales (G _T)				\$ <u>19,485,681.00</u>
				Utilidades Netas: \$ <u>3,314,319.00</u>

Ahora bien, para saber hasta que grado nuestro estudio puede ser económico, debe conocerse su Rentabilidad; ésta se define como la razón: de Utilidades Netas a la Inversión Total multiplicado por cien:

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Utilidades Netas} \times 100}{\text{Inversión Total}}$$

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\$3,314,319.00 \times 100}{\$1,785,630.00} = 185\%$$

El pago de la inversión hecha en la planta (según - - Aries), se puede evaluar por medio de la siguiente fórmula:

$$D = \frac{I_T}{PbRa + 0.1 I_T}$$

en donde:

D = Tiempo en que se paga la inversión

I_T = Inversión total

Pb = Utilidades netas/Producto/Cantidad de Producto.

Ra = Cantidad de Producto/Año.

$$D = \frac{\$ 1,785,630.00}{\$26.60/\text{Ton}(124000 \text{ Ton/Año}) + (0.1) (1,785,630.00)\text{Ton/Año}} = \text{Años}$$

$$D = \frac{\$ 1,785,630.00}{\$3,314,319.00 + 178,563.00} = 0.53 \text{ años}$$

$$D = 6.39 \text{ meses}$$

En resumen el pago de la Inversión se llevará a cabo en 2 meses, 12 días.

B I B L I O G R A F I A

- 1) L.W. Hatherly and P.C. Leaver. Asphaltic Road Materials London, Edward Arnold Ltd. 1967, págs. 5-7.
- 2) Arnold J.Hoiberg, Bituminous Materials. Vol. I, Intercience Publishers, 1964, págs. 188-189
- *3) Armando Terrazas N., Las Emulsiones Asfálticas Catiónicas. Caminos y Puentes Federales de Ingresos. México 1963, págs. 5-6
- *4) J.P.H. Pfeiffer, The Properties of Asphaltic Bitumen Elsevier Publishing Co. Inc., New York, 1950, págs. 15-20.
- *5) S.R. Sergienko, High Molecular Compounds in Petroleum. Daniel Daving Co. Inc., New York, 1965, pág. 401.
- 6) E.J. Barth. Petroleum Refiner, Vol 36, No.10, pág. 118.
- 7) ASTM Standars, Bituminous Materials for Highway Construction, Waterproofing and Roofing; Soils, Skid Resistance, Part II, 1966, págs. 4-9, 23, 56-69, 93, 458.
- 8) Rethel L.Hubbard and K.E. Stanfield. Analytical Chemistry, Vol. 20, No.5, May 1948.
- 9) Especificaciones Generales de la S.O.P., Parte IX, Libro 10., Prueba #110-12, pág. 198, México 1957.
- *10) Vaugh Smith, Petroleum Refiner, Vol.39, No.6, June 1960, pág. 211.
- *11) D.Q.Kern, Process Heat Transfer, Mc Graw Hill-Koga kusha, Book Co. Inc., Tokio, 1950, págs. - 716-723.

- 12) Ernest E. Ludwig. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants. Vol. I, Houston, Tex. 1964, págs. 45-90, 160-181.
- 13) McCabe, W.L. Smith, J.C. Unit Operations of - Chemical Engineering, Mc GrawHill Book Co., -- Inc, New York, 1956.
- 14) Perry, J.H. Chilton, C.H. Kirkpatrick, S.D. Chemical Engineers Handbook. McGrawhill Book Co., Inc. Fifth Edition, New York, 1968.
- 15) H. Rase and M.H. Barrow. Project Engineering of Process Plants, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1968, págs. 187-203, 365-368.
- 16) Prof. Quím. Manuel Madrazo. Aspectos Químicos de los Asfaltos y Mezclas Asfálticas, Facultad de Química. UNAM.
- 17) Crane Co. Flow of Fluids, Chicago, Illinois, 1969.
- 18) L.E. Brownell & E.H. Young. Process Equipment Design. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1968 pags. 84-97, 137-138.