

83
20



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica

EMULSIONES ASFALTICAS

TRABAJO ESCRITO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

LAURA JOSEFINA LOYOLA PEREZ



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 está 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.

EMULSIONES ASPALTICAS

	Pag.
I INTRODUCCION	1
II TEORIA DE LAS EMULSIONES ASPALTICAS.....	6
II.1 ¿Que es una emulsión asfáltica?	6
II.2 ¿Que es un emulsificante?	9
II.3 El papel del cemento asfáltico en las emulsiones ..	11
II.3.1 Definición de cemento asfáltico	11
II.3.2 Composición química y estructura coloidal -- del cemento asfáltico	13
II.3.2.1 Disolución y suspensión coloidal ..	13
II.3.2.2 Fraccionamiento del cemento as-- fáltico	15
II.3.3 Posibles características para una mejor emul sificación de los cementos asfálticos.....	17
II.4 Química de las emulsiones asfálticas	18
II.4.1 Emulsiones aniónicas	18
II.4.2 Emulsiones catiónicas	22
II.4.3 Emulsiones especiales	25
II.5 Fenómeno de Rompimiento	26
II.5.1 Rompimiento por evaporación del agua	27
II.5.2 Rompimiento por reacción	28
II.5.2.1 Materiales alcalinos	28
II.5.2.1.1 Caso de emulsiones aniónicas	29
II.5.2.1.2 Caso de emulsiones catiónicas ...	30
II.5.2.2 Materiales ácidos	31
II.5.2.2.1 Caso de la emulsión catiónica ...	31
II.5.2.2.2 Caso de la emulsión aniónica	32
II.5.2.3 Materiales Mixtos	33

III TIPOS DE EMULSIONES Y SU FABRICACION	37
III.1 Tipos de Emulsiones Asfálticas	37
III.1.2 Composición	38
III.2 Fabricación de emulsiones asfálticas	42
III.2.1 Almacenamiento de emulsiones asfálticas	46
III.2.2 Elementos principales de una fábrica de-	
emulsiones asfálticas	49
IV ESPECIFICACIONES Y PRUEBAS PARA EL USO DE EMULSIONES	
ASPALTICAS	55
IV.1 Principales pruebas que se le realizan a las emul-	
siones asfálticas	55
IV.1.1 Pruebas al material asfáltico	55
IV.1.1.1 Viscosidad "Saybolt-Furol"	55
IV.1.1.2 Residuo por destilación	55
IV.1.1.3 Residuo por evaporación	56
IV.1.1.4 Prueba de Asentamiento	57
IV.1.1.5 Demulsibilidad con cloruro de Cal-	
cio	58
IV.1.1.6 Retenido en la malla no. 20	58
IV.1.1.7 Capacidad de cubrimiento del ma-	
terial pétreo en condiciones de -	
trabajo y resistencia a la acción	
del agua	59
IV.1.1.8 Prueba de miscibilidad con cemen-	
to Portland	60
IV.1.1.9 Carga de la partícula	60
IV.1.1.10 Determinación del potencial hi-	
drógeno (F.H.)	61
IV.1.1.11 Disolvente en volumen	62
IV.1.2.1 Pruebas al residuo de la destilación	62

	Pag.
IV.1.2.1 Penetración	62
IV.1.2.2 Ductilidad	63
IV.1.2.3 Solubilidad del cemento asfáltico en tetracloruro de carbono	63
IV.2 Especificaciones	65
V SELECCION Y USO DE EMULSIONES ASFALTICAS	70
V.1 Selección de Emulsiones Asfálticas	70
V.2 Usos de emulsiones asfálticas	74
V.2.1 Riego de impregnación	76
V.2.2 Riego de Liga	76
V.2.3 Mortero Asfáltico "Slurry Seal"	77
V.2.4 Carpetas por el sistema de riego	80
V.2.5 Mezclas asfálticas en frio , realizadas con ma- terial pétreo emulsión	82
V.2.6 Uso de emulsiones en conservación de caminos ..86	
V.2.6.1 Calentamiento-Escarificación	88
IV CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFIA	94

C A P I T U L O I

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

Para poder comprender que es una emulsión asfáltica en especial para las personas que nos iniciamos en el conocimiento de los procesos constructivos de las vías terrestres, será necesario ubicar a las emulsiones asfálticas en un contexto general como lo es el pavimento.

Un constituyente estructural de una vía terrestre es el pavimento que es el conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten adecuadamente distribuidas a las capas inferiores proporcionando la superficie de rodamiento en donde se debe tener una operación "rápida y cómoda".

Se distinguen dos tipos de pavimentos: el pavimento flexible y el pavimento rígido; que entre otras diferencias se encuentra el tipo de superficie de rodamiento, el pavimento rígido es de concreto hidráulico y el pavimento flexible es una carpeta asfáltica.

El punto de partida para adentrarse en el tema de las emulsiones asfálticas, es el tipo de superficie de rodamiento de los pavimentos flexibles, como lo es la carpeta asfáltica, la que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos. Estos productos asfálticos son el cemento asfáltico, los rebajados asfálticos y las emulsiones asfálticas. Es decir las emulsiones asfálticas son un producto asfáltico que sirve para construcción y mantenimiento de una carpeta asfáltica la que puede aplicarse o mezclarse con pétreos húmedos, siendo esta cualidad exclusiva de este producto asfáltico, ya que, con los rebajados asfálticos y el cemento asfáltico-

esto no es posible.

Una emulsión asfáltica es una dispersión estabilizada de cemento asfáltico en agua, esta dispersión se logra mediante un emulsificante y un estabilizador. La definición anterior se comprendera mejor al estudiar el capítulo II del presente trabajo.

Ya teniendo una mejor idea sobre las emulsiones asfálticas, en seguida presentare una breve historia de las mismas.

Las emulsiones asfálticas aparecieron en el mercado a principios del siglo en diferentes lugares y con usos muy variados. La construcción de caminos empleó por primera vez la emulsión aniónica en riegos preventivos contra el polvo, esto ocurrió en Nueva York en 1905 y lo reportó J.G. Campazzi; en 1914 el Estado de Indiana comenzó a realizar trabajos de reparación de caminos empleando estas emulsiones.

Ese mismo año en Hamburgo, Alemania, se construyó una carpeta asfáltica con un tratamiento superficial de varios riegos empleando como ligante una emulsión estabilizada, con arcilla muy activa como emulsificante. Aunque los resultados fueron buenos, posteriormente se observó que podría haber una acción reversible, como consecuencia de la humedad y el tránsito de vehículos.

Las emulsiones aniónicas se comenzaron a emplear en Europa en 1925. Aprovecharon los ácidos nafténicos contenidos en el asfalto, que actúan como emulsificante al agregar agua con sosa cáustica y sometiendo a una enérgica agitación la masa de los dos líquidos.

En México las usaron por primera vez las compañías extranjeras que trabajaban en el país en 1930-1935. Se les empleó en las carreteras de San Martín Texmelucan a Tlaxcala, (camino colonial), de México a Pachuca, de México a Laredo (kilómetro 65), y en calles de la Ciudad de México, como Paseo de -

la Reforma, San Juan de Letrán y Avenida Juárez. El gran inconveniente fue su prolongado tiempo de rompimiento, que en la época de lluvia causaba retrasos y graves problemas de -- construcción.

Por ello, al aparecer los rebajados asfálticos ganaron la -- preferencia del constructor durante más de 30 años y hasta-- la fecha, no han podido ser desplazados totalmente.

En 1953 las emulsiones catiónicas aparecen en Europa especi-- ficamente en Francia, posteriormente aparecen en Estados -- Unidos. Francia en 1970 estaba 10 años adelante técnicamente que Estados Unidos.

Al referirse a Francia es por los siguientes motivos: actual-- mente cada país en Latinoamérica que utiliza las emulsiones catiónicas con éxito es por que tiene escuela francesa; en -- España, Suiza, Belgica y Canadá tambien de alguna forma han recibido la enseñanza francesa.

Las emulsiones catiónicas se conocieron en México en 1960. -- Se hicieron pruebas y los ingenieros mexicanos Manuel ---- Bustamante Velasco y Efrén Arredondo presentaron en el Con-- greso Panamericano de Carreteras en Bogotá, Colombia, un tra-- bajo titulado: "Primeras Investigaciones Realizadas en ---- México con Emulsiones Asfálticas Catiónicas".

Las emulsiones catiónicas tuvieron tambien su gran impulso -- cuando la empresa francesa Colas llego en 1966 y se instala-- ron en Tabasco. El químico Pierre Grandeveau enseñó a varios técnicos mexicanos y son los que inician la nueva era de las emulsiones en nuestro país.

Hasta ahora, se han instalado dos grandes fábricas de emul-- siones propiedad de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (C.P.F.I.S.C.) empresa paraestatal, ubi-- cadas en Irapuato, Guanajuato,(Gto.) y Chontala Tabasco(Tab)

que desde 1969 tiene un promedio de producción de 35 millones de litros anuales cada una.

La iniciativa privada ha instalado también alrededor de diez fábricas de pequeña producción.

La producción total entre paraestatales e iniciativa privada reportada en 1986 fué de 250,000 toneladas anuales.

Ya teniendo una idea más general sobre las emulsiones asfálticas, procederé a dar una breve descripción del contenido de este trabajo, aclarando que éste es parte de varios trabajos de tesis que está dirigiendo el M. en Ing. Francisco Olivera B., en relación al uso de emulsiones asfálticas en carreteras siendo otros temas: "Carpetas y Tratamientos con Emulsiones Asfálticas y Comparación de Costos en Relación a las Mezclas en Caliente", "Plantas portátiles para la elaboración de emulsiones catiónicas" y "Uso de las emulsiones en diferentes tipos de carpetas para carreteras".

El capítulo II estudia por separado las propiedades químicas de los principales componentes de las emulsiones asfálticas y los procesos químicos que se presentan en ellas. Habiendo presentado el aspecto teórico de las emulsiones en el capítulo III se listan las principales emulsiones asfálticas fabricadas en México, el proceso de fabricación así como los elementos que constituyen una fábrica de emulsiones asfálticas. Para verificar la calidad de las emulsiones asfálticas hay pruebas y especificaciones que permiten llevar un buen control sobre la fabricación de éstas, por lo que en el capítulo IV se describen brevemente. En el capítulo V se pretende remarcar las ventajas que se obtienen al usar las emulsiones asfálticas sobre los otros productos asfálticos; también se dan los principales usos, haciendo énfasis en la clase de emulsión que se--

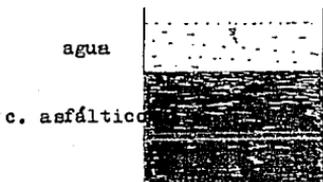
recomienda para cada uso. Finalmente en el capítulo IV presen
to las principales conclusiones de este trabajo.

C A P I T U L O I I

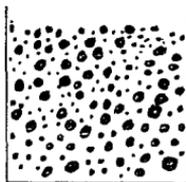
TEORIA DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

II.1 ¿ qué es una emulsión asfáltica ?

Una emulsión es una dispersión íntima más o menos estabilizada de dos productos insolubles entre si, en el caso de la emulsión asfáltica es la dispersión de un cemento asfáltico - en agua.



Antes del proceso de emulsificado.



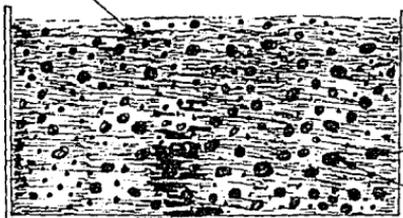
Después del proceso de emulsificado.

Dentro de una emulsión se distinguen dos fases separadas:

- Por una parte, la fase dispersante o discontinua que puede ser un líquido mas ó menos viscoso, en el caso de las emulsiones asfálticas sera el cemento asfáltico.
- Por otra parte, la fase dispersante o continua, de un líquido; para la emulsión asfáltica será el agua.

Una emulsión tiene dos fases distintas

Fase dispersante o
continua.



Fase dispersa-
o dispersante que-
corresponde a gló-
bulos del tamaño -
de la micra. (el -
cemento asfáltico
se divide en un molino coloidal)

Existen dos tipos de emulsiones según la concentración de ca-
da una de esas fases:

- Una emulsión directa.- es aquella en que la fase hidrocar-
bonada esta dispersa en la fase acuosa o tambien conosida -
como "Aceite en agua".
- Una emulsión Inversa.- es aquella en que la fase acuosa eg
ta dispersa en la parte hidrocarbonada o tambien conosida-
como "Agua en aceite".

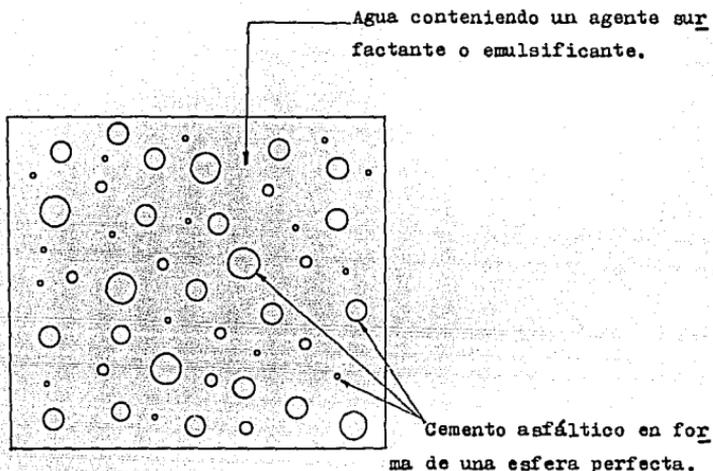
Las del primer tipo son las que más se emplean en la indus-
tria caminera. Las inversas han recibido el nombre de emul-
siones de alta flotación (high float) y han adquirido bastan-
te popularidad en Estados Unidos.

Por razones de simetria en la acción capilar de los glóbulos
de cemento asfáltico de la emulsión son de forma esférica.

El tamaño promedio del glóbullo de cemento asfáltico es de 2-
a 6 micras tan pequeño que hace aumentar la superficie de --

contacto del cemento asfáltico. Esto favorece el mojado, repartición y cohesión con el material pétreo.

La siguiente figura muestra esquemáticamente el aspecto que presenta una emulsión asfáltica :



Esquema de una emulsión asfáltica.

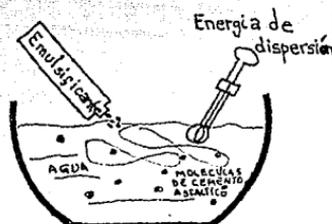
Para fabricar una emulsión asfáltica es necesario, después de poner en contacto y hacer suficiente fluido los dos productos (partículas coloidales de cemento asfáltico con agua)

-Proporcionar en la forma más apropiada una energía de dispersión (Molino Coloidal) ;

- Introducir en la mezcla, en general, antes o durante la agitación un cuerpo protector llamado emulsificante.

Para fabricar una emulsion
Es necesario:

- Una energia de dispersion
- Un emulsificante o surfactante.



II.2 ¿ Qué es un Emulsificante ?

Ya se ha venido hablando de los emulsificantes, pero no se ha aclarado que características tiene, ni tampoco como se de finea.

A continuación se exponen los elementos básicos que describen las propiedades químicas de los emulsificantes.

Los emulsificantes son agentes activos en la superficie, también son conocidos como surfactantes.

Los surfactantes, aún cuando están presentes en concentraciones muy bajas, poseen la propiedad de alterar la energía de la superficie de sus solventes a un grado extremo. Estos productos químicos se caracterizan por tener una cola larga hidrofóbica hidrocarbonica (que repudia el agua), y una cabeza polar hidrofílica (que le agrada el agua).

Los surfactantes o emulsificantes asumen esta forma polarizada cuando están disueltos en agua y se ionizan o se disocian.

En la interfase entra el asfalto y la fase de agua de cualquier emulsión, la cabeza hidrofílica de la molécula surfactante se orienta así misma hacia el medio polar, tal como el agua.

La cola hidrofóbica de la molécula se orienta hacia el medio no polar, como el asfalto. La molécula, activa de la superficie, actúa como un puente entre las dos fases, bajando la energía de la superficie y haciendo una transición entre las fases menos abruptas.

Existen básicamente tres tipos de agentes químicos activos de superficie que se clasifican de acuerdo con su disociación (características) en el agua son :

1.- Surfactantes Aniónicos : la molécula de hidrocarburo tiene una carga negativa cuando el compuesto se ioniza en el agua.

2.- Surfactante Catiónico: la molécula de hidrocarburo tiene una carga positiva cuando el compuesto se ioniza en solución de agua.

3.- Surfactante No Iónico: la molécula de hidrocarburo no se ioniza en solución de agua y no tiene carga electroquímica . Este producto químico se disuelve sin ionización.

Resulta aparente que la diferencia en la estructura molecular física de los diferentes surfactantes es ligera.

La distinción importante es la diferencia de las propiedades electroquímicas de los surfactantes y su comportamiento en interfaces líquido-sólido. La fisicoquímica ha reportado que los surfactantes catiónicos tienen una afinidad muy alta para casi todas las superficies.

Esto se debe a las fuerzas de energía cinética mas altas en los surfactantes catiónicos que en tipos aniónicos ó no iónicos.

En resumen el emulsificante tiene un doble objetivo:

-Facilitar la emulsificación, al disminuir la tensión interfacial entre las dos fases.

-Estabilizar el producto fijándose a la periferia de los glóbulos dispersados y evitando así la unión de dichos gló

bulos ("coalescencia", tendencia a la ruptura de la emulsi--
ón)

Tambien podemos concluir que los emulsificantes cumplen con los siguientes requerimientos:

- Es un cuerpo hipotensor tenso activo, es decir, que disminuye considerablemente la tensión interfacial para una concentración muy débil ;

- Un cuerpo que tenga una constitución polar- no polar, es decir, compuesto de moléculas complejas formadas de dos partes; una parte eléctricamente no polar y neutra hacia el exterior y una parte polar cargada eléctricamente también hacia el exterior. Esas moléculas se concentran en la interfase y se orientan para formar allí la película protectora.

II.3 El papel del cemento asfáltico en las emulsiones

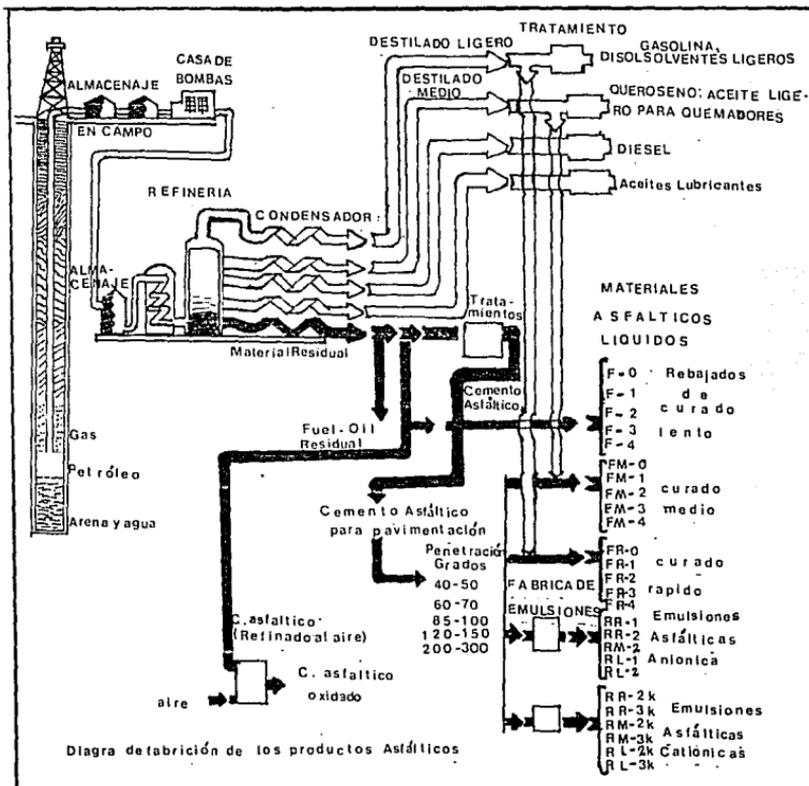
II.3.1 Definición de cemento asfáltico.

El cemento asfáltico es un componente natural de la mayor parte de los petroleos, en los que existe en disolución. El petróleo crudo se destila para separar sus diversas fracciones y recuperar el cemento asfáltico o también conocido por asfalto, en algunos de los cuales se encuentra prácticamente libre de materias extrañas, mientras que en otra está mezclado con cantidades variables de minerales, agua y otras sustancias. En resumen el cemento asfáltico es el último residuo de la destilación del petróleo.

Los cementos asfálticos son aglomerantes sólidos o semisólidos de color que varía de negro a pardo oscuro y que se licuan gradualmente al calentarse, cuyas propiedades físicas y químicas las hacen aptos para multitud de aplicaciones de tipo diverso.

El cemento asfáltico es un material de particular interés --

para el ingeniero porque es un aglomerante resistente, muy - adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas con - materiales pétreos, con los que se combina usualmente. Ade - más es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, alcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácil - mente con aplicación de calor, por la acción disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.



II.3.2 Composición química y estructura coloidal del cemento asfáltico.

El cemento asfáltico como el petróleo crudo, es una mezcla de un enorme número de hidrocarburos de tipos diversos mezclados en proporciones muy variables.

La mayoría de estos hidrocarburos están presentes en el petróleo crudo, pero en el proceso de destilación da también lugar a algunas transformaciones de carácter químico. Desde luego los hidrocarburos que forman el asfalto son todos pesados, de molécula complicada, pues los hidrocarburos ligeros se eliminan en el proceso de destilación.

Además de contener hidrocarburos, existen también en su composición diversos derivados de estos productos que contienen cantidades pequeñas de azufre, oxígeno y/o nitrógeno.

Los componentes del cemento asfáltico difieren en su carácter químico y en su peso molecular. Pueden contener agrupamientos de las cuatro formas siguientes:

- a) Agrupamientos alifáticos saturados o parafinas.
- b) Agrupamientos nafténicos o cicloparafinas.
- c) Agrupamientos de anillos aromáticos.
- d) Agrupamientos alifáticos con doble enlace.

Muchos hidrocarburos y sus derivados corresponden a combinaciones de estas formas básicas.

Las relaciones de concentración de los diversos agrupamientos, pueden variar entre los diferentes asfálticos, según su origen y de acuerdo con el proceso que se haya utilizado para su preparación.

II.3.2.1 Disolución y suspensión coloidal

Una disolución ordinaria consiste en un disolvente y un soluto. El soluto está disperso en el disolvente molecular, es decir, la sustancia está dividida completamente en moléculas. Hay casos en que un cuerpo puede presentarse disperso en otro, pero no en forma molecular, sino en forma de grupos

más o menos grandes de moléculas. Esta dispersión se llama-- suspensión coloidal si el tamaño de los grupos de moléculas-- en suspensión no es tan grande que se produzca su separación por precipitación o flotación.

En una suspensión coloidal cuando los dos constituyentes del sistema coloidal son líquidos, se designa al sistema como un "SOL", si uno de los constituyentes es sólido dando a la masa una apariencia gelatinosa se habla de un "GEL".

Como anteriormente mensione que, el cemento asfáltico es una mezcla de gran número de hidrocarburos de diverso carácter -- que son solubles unos en otros en proporciones diversas. Estas moléculas se agrupan según sus características físicas,-- dando lugar a una estructura coloidal característica. Las moléculas más pesadas se agrupan en forma de micelas, mientras que las más ligeras constituyen el líquido intermicelar. -- Las micelas son partículas coloidales.

En el sistema coloidal que existe en los asfáltos, los componentes de peso molecular más alto constituyen las micelas -- (fase dispersa) y la fase continua esta formada por constituyentes de pesos moleculares menores que constituyen el líquido intermicelar. En el caso del cemento asfáltico, este es -- el fenómeno que se produce ; pero complicado por el hecho de que no se encuentran con dos cuerpos en presencia, sino con una multitud. Sin embargo, se simplifica el problema clasificando a los componentes del cemento asfáltico en dos grupos: asfaltenos que forman las micelas y maltenos, característicos de la fase continua o intermicelar.

El petróleo crudo es una mezcla de multitud de hidrocarburos disueltos unos en otros, en la que probablemente se encuentran ya presentes partículas coloidales. Al eliminarse por -- destilación los hidrocarburos más ligeros, los más pesados-- no pueden mantenerse en disolución y van uniéndose por adsorción a las micelas ya existentes, aumentando su volumen tan-

to más cuando más se extrema la destilación.

II.3.2.2 Fraccionamiento del cemento asfáltico

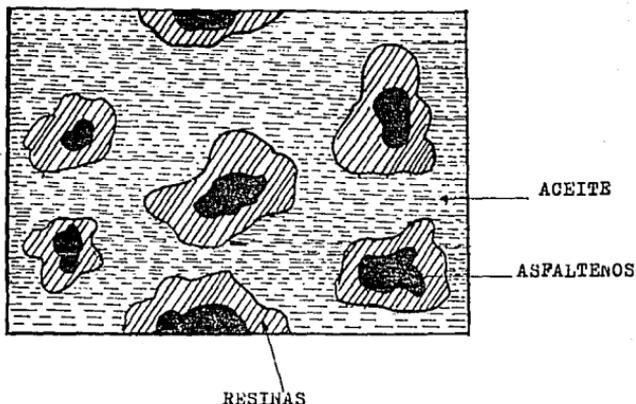
Mezclando con un disolvente al cemento asfáltico como un hidrocarburo saturado de bajo punto de ebullición, se rompe la estructura coloidal, disolviéndose una parte del material, - mientras que el resto precipita (separación en forma sólida - de un cuerpo disuelto en un líquido) en forma de partícula - terrosa de color muy oscuro. Se llaman asfaltenos a los cuerpos que precipitan y maltenos a los que se quedan disueltos. Los maltenos, a su vez, suelen dividirse en resinas y aceites. Se llaman resinas los componentes de los maltenos - con mayor poder de adsorción, y aceites a los de menor poder se separan pasando la disolución obtenida a través de un filtro de arcilla activada, que retiene las resinas mientras - que los aceites quedan en disolución. Los aceites pueden separarse por destilación de la disolución y las resinas lavando el filtro con un disolvente más activo y destilando posteriormente.

De este proceso de descomposición se deduce que los asfaltenos son los principales componentes del núcleo de las micelas, los aceites predominan en el líquido intermicelar y las resinas constituyen una fase intermedia entre núcleo y líquido intermicelar

En vista de que ni asfaltenos ni maltenos tienen una composición definida, ya que esta depende de la naturaleza del disolvente es conveniente añadir el nombre del disolvente cuando se hace referencia a ellas.

Dependiendo del grado de aromaticidad de los maltenos y de la naturaleza y la concentración de los asfaltenos, podrán o bien moverse libremente las micelas en cemento asfáltico -- (suspensión tipo sol) o debido a fenómenos de atracción mutua, formarse una estructura a través de la masa (suspension --

ción tipo Gel)



En resumen, se puede decir que los asfaltenos contienen las moléculas más pesadas del cemento asfáltico y tienen un carácter aromático muy marcado. El contenido en aromáticos decrece gradualmente en la serie asfaltenos resinas-aceites. Los asfaltenos se componen de hidrocarburos aromáticos con pocas cadenas parafínicas, y los maltenos principalmente de hidrocarburos saturados, tanto nafténicos como parafínicos, con cierto número de anillos aromáticos, elevando en las resinas pesadas y reducido en los aceites ligeros. Aparte de los hidrocarburos, se encuentran a veces trazas de oxígeno, nitrógeno, azufre y algunos otros elementos, cuya forma de presentación se sabe poco, salvo que parte del oxígeno forma parte de los ácidos nafténicos, los cuales tienen gran interés por la importancia en la adhesividad del cemento asfáltico a ciertos materiales y en la emulsificación del cemento asfáltico.

Los cementos asfálticos tipo SOL/GEL Y GEL tienen una mayor proporción de asfaltenos, y los asfaltenos no están tan dispersos como en los asfaltos tipo SOL.

Los cementos asfálticos tipo SOL se usan comunmente en la -- preparación de emulsiones asfálticas.

II.3.3 Posibles características para una mejor emulsificación de los cementos asfálticos.

Es conocido que las propiedades del cemento asfáltico contri buyen grandemente a las propiedades de la emulsión terminada sin embargo, se desconoce la correlación exacta entre fácil-emulsificación y los constituyentes asfálticos. En el mejor de los casos, y de acuerdo con la experiencia de fabricantes de emulsiones asfálticas se han obtenido los siguientes re-- sultados:

Indice de acidez o número acido Mayor de 0.5
Contenido de sulfuro Bajo
P.H. Menor de 7

Según la experiencia de fabricantes de emulsiones asfálticas los emulsificantes han sido más efectivos cuando se usan con cemento asfáltico que es en si mismo un buen coloide disperso. En un asfalto tipo SOL, la fase de aceite es continua -- con las resinas en el aceite que sirven para peptizar comple-- tamente el alto peso molecular de los asfaltenos(la palabra peptizar no se habia mencionado antes, pero consiste en la-- dispersión de una sustancia en partículas de tamaño coloidal causado por adición de un coloide protector o tambien llama-- do agente peptizante).

Si la fase de aceite no contiene suficientes resinas o colo-- ides protectivos para dispersar completamente los asfaltenos entonces se recurre al cemento asfáltico tipo GEL.

Es el exceso de asfaltenos lo que parece dar el mayor proble-- ma en la emulsificación. El estado de transición SOL-GEL, -- presente en muchos cementos asfálticos rebajados, resulta --

particularmente difícil de emulsificar.

Las combinaciones de cementos asfálticos y rebajados tienden a emulsificarse en fracciones notablemente diferentes que de notan que el material rebajados tiene afinidad por si mismo y previene la formación de una mezcla homogénea.

Cuando se aumenta el contenido parafínico del cemento asfáltico así también aumenta el efecto a flocular de la parafina de los asfaltenos, y resulta difícil de emulsificar.

Segun experiencias de fabricantes parece ser que cualquier proceso o reacción química que ocasione que los asfaltenos aumenten en porcentaje, que floculen, o que dejen la fase dispersa, de cualquier forma, tienden a provocar dificultad en la emulsificación y consecuentemente mala calidad de emulsión.

II.4 Química de las emulsiones asfálticas

Habiendo hecho la distinción de los componentes de las emulsiones asfálticas y también mencionado sus principales propiedades, así como el papel que desempeñan en la fabricación de las emulsiones asfálticas, pasaré a desarrollar lo que se conoce como química de las emulsiones asfálticas.

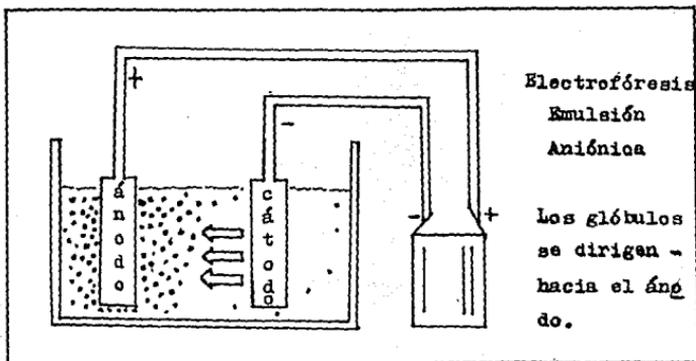
Las emulsiones asfálticas también se clasifican dependiendo de la naturaleza iónica del emulsificante usado, en :

- Emulsiones aniónicas
- Emulsiones catiónicas

Se ha acostumbrado también clasificarlas en una categoría — llamada "emulsiones especiales", las que son destinadas: bien sea a técnicas comunes, pero que comprenden el empleo de materiales pétreos que presentan características particulares; sea para técnicas especiales que exijan el empleo de ligantes con determinadas propiedades.

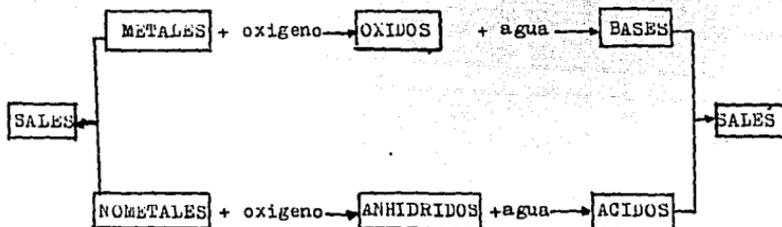
II.4.1 Emulsiones Aniónicas

Estas toman su nombre del hecho de que cuando se sumergen -- dos electrodos en el seno de una emulsión y se hace pasar co rriente eléctrica los glóbulos de cemento asfáltico se dirigen hacia el ánodo. Esto es una consecuencia de la naturaleza del emulsificante utilizado.



Este emulsificante generalmente es un electrolito, (Los electrolitos son sustancias cuyas soluciones en agua conducen la electricidad) es decir un cuerpo ionizado que se disocia en en el agua en dos fracciones eléctricas, el anión (carga negativa) y el catión (carga positiva).

Para las emulsiones aniónicas se utiliza como emulsificante el jabón alcalino de ácido orgánico (por ejemplo: una resina). Como este jabón se obtiene por acción de un ácido débil sobre una base fuerte, estas emulsiones se denominan también alcalinas. Para una mejor comprensión sobre los ácidos y las bases en la pagina siguiente se presenta un esquema de la formación de compuestos correspondientes a conceptos de química elemental.



La fórmula general de los emulsificantes alcalinos o jabónes es la siguiente:



R (La R nos representa un radical que es un grupo de átomos - que actúan con valencia propia como si constituyeran un solo átomo. Recordando el concepto de valencia como el número que representa la capacidad de un elemento para combinarse con - otros elementos y formar compuestos químicos), este radical es una cadena de ácido graso, más o menos larga, ramificada o no, característica del ácido empleado, que constituye la - parte no polar de la molécula. Posee una afinidad por la fase asfáltica.

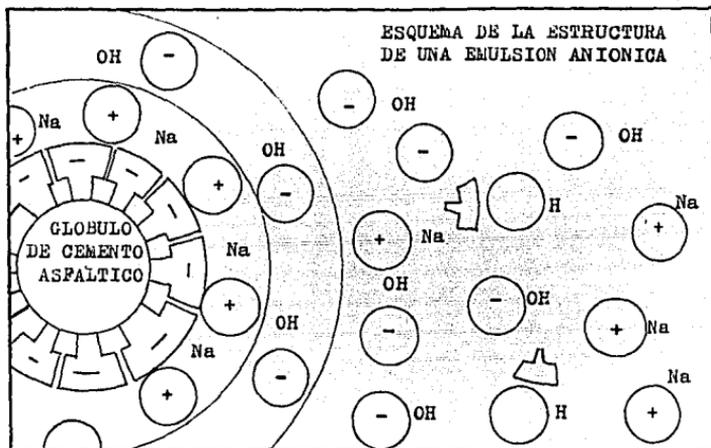
$COO Na$, constituye la parte polar de la molécula.

Cuando este jabón se diluye en el agua, se ioniza; el sodio o el potasio, constituyen los iones positivos o cationes; el resto de las moléculas constituyen los aniones:

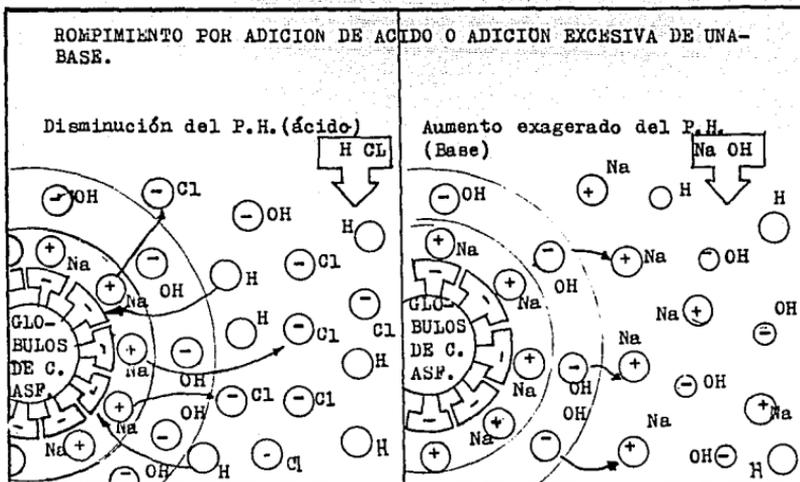


Cuando se dispersa el asfalto en esta solución jabonosa, los aniones $(R-COO)$ son absorbidos por los glóbulos de cemento - asfáltico y vienen a constituir una envoltura al rededor de-

ellos, en tanto que los cationes (Na) adsorbidos por el agua constituyen una segunda envoltura alrededor de la primera. Los iones que envuelven a los glóbulos del cemento asfáltico se repelen puesto que llevan cargas del mismo signo, impidiendo el fenómeno de coalescencia y asegurando así la estabilidad al almacenamiento.



Esta estabilidad es influenciada por el P.H. de la fase acuosa. Es óptima para un P.H. comprendido entre 11 y 12. Si se introduce ácido en la emulsión (HCl), se abate el P.H. a 7 o menos, la emulsión floccula (principio de rompimiento). Este fenómeno se debe a la neutralización por el ácido introducido de los cationes Na: la capa difundida alrededor de cada glóbulo desaparece y los cationes (H) vienen a neutralizar la capa aniónica (R-COO), en la superficie de los glóbulos; las repulsiones electrostáticas cesan, los glóbulos entran en contacto y se adhieren unos a otros.

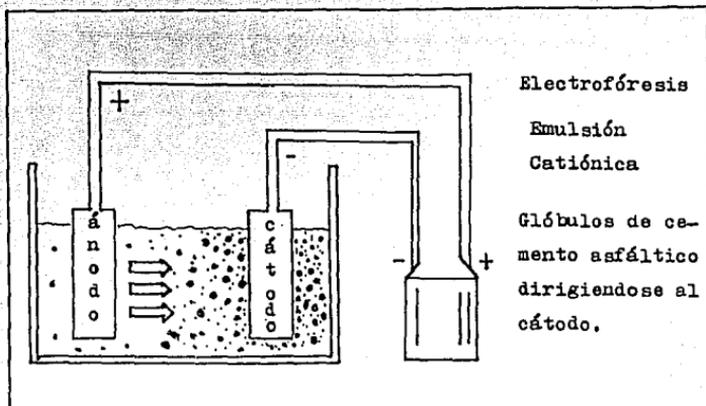


La adición de una base Na OH (hidroxido de Sodio) por ejemplo, en cantidades pequeñas, no provocan este fenómeno; es, alcontrario, favorable a la estabilidad de la emulsión. De todas maneras, dentro de ciertos límites, la introducción de una base, es decir, de cationes alcalinos (Na, por ejemplo), trae por consecuencia una reducción de la afinidad por la fase acuosa de los cationes del emulsificante; éstos se fijan de nuevo en la parte aniónica absorbida ($R-COO$) a la cual ne utralizan, provocando la floculación.

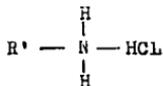
II.4.2 Emulsiones Catiónicas

Se les llama así porque a la inversa de lo que sucede con las emulsiones aniónicas, cuando se sumergen dos electrodos en tales emulsiones y se hace pasar la corriente eléctrica, es hacia el cátodo al que se dirigen los glóbulos del cemento asfáltico.

El emulsificante empleado generalmente es tambien un electro-
lito (Sustancias cuyas soluciones en agua conducen la electri-
cidad).



Se trata a menudo de una sal cuaternaria de amonio o de una sal amina que resulta de la reacción de un ácido mineral --- (Clorhídrico, nítrico, fórmico, acético, etc.) sobre la amina grasa. Esta amina se comporta como una base débil; como el ácido utilizado es contrariamente un ácido fuerte, estas emulsiones igualmente se denominan "Emulsiones ácidas". La fórmula general de estos jabones es por ejemplo:

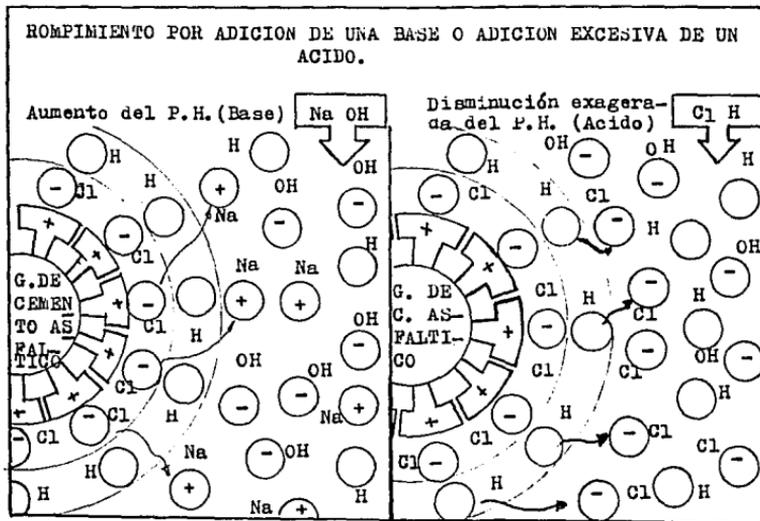


Donde R' (radical), es la cadena orgánica característica de la amina, que constituye la parte no polar de la molécula. Tiene afinidad por el cemento asfáltico.

NH₃ Cl es la parte polar de la molécula.

Diluido en el agua este emulsificante se ioniza; el átomo del cloro constituye el anión; el resto de las moléculas for-

Si se aumenta este P.H., por introducción de una base (sosa - por ejemplo), los cationes alcalinos (Na), que provienen de la ionización de esta sosa, neutralizan los aniones del cloro de la primera envoltura protectora; los aniones hidroxidos -- (OH) van a su vez a neutralizar a la envoltura catiónica ---- (H'NH₃); las repulsiones electrostáticas cesan y se producirá la coagulación.



De la misma manera un exceso fuerte de ácido dará lugar a la floculación, por acción de los aniones cloro (CL) en exceso sobre la envoltura catiónica.

II.4.3 Emulsiones Especiales:

Las emulsiones especiales se caracterizan :

a) Por la naturaleza del ligante de base.

Este ligante puede ser:

-Un cemento asfáltico fluido de fraguado muy lento;

-Un cemento asfáltico duro; 40/50 u 80/100;
 -Un cemento asfáltico de penetración común: 130/220, con adición de diversos productos destinados a modificar las características del ligante de base: hule, combustoleo, etc.
 Estas emulsiones pueden ser aniónicas o catiónicas.-el esquema de su estructura es también parecido a los esquemas presentados anteriormente, para las emulsiones clásicas.

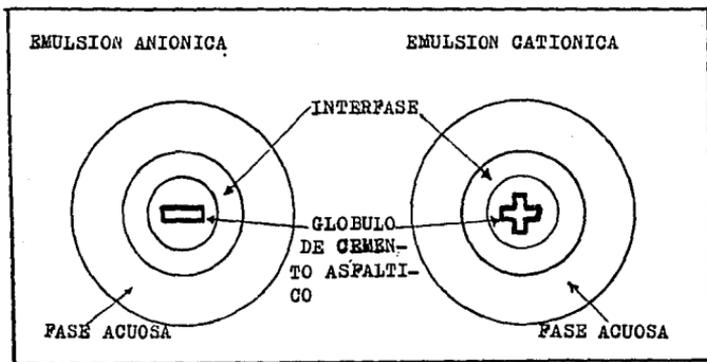
b) Por la naturaleza del emulsificante utilizado.

Este emulsificante puede ser:

- Iónico (electrolitos menos comunes que los electrolitos de las emulsiones catiónicas y aniónicas).
- No Iónicos (éter por ejemplo)
- "Natural"(Caseina, gelatina, proteína) .

II.5 Fenómeno de Rompimiento

Como se sabe que los surfactantes o emulsificantes son los que producen la emulsión asfáltica, se sitúan en su mayor parte en la "interfase". Su parte polar orgánica e hidrofóbica se dirige hacia el cemento asfáltico y su parte polar inorgánica e hidrofílica hacia el agua.



Con estos emulsificantes iónicos, los glóbulos adquieren cargas eléctricas del mismo signo, repeliéndose entre ellos. Influyen sobre su comportamiento, de acuerdo con el tipo y concentración en presencia de una superficie pétreo. Pasado un tiempo determinado, las emulsiones depositan sobre la superficie del pétreo una película de ligante. Este fenómeno se conoce como ruptura. Previamente, la emulsión pasa por un intervalo en que se concentra su porcentaje de cemento asfáltico, -- convirtiéndose en una emulsión del tipo inverso para luego -- perder toda el agua hasta tener una emulsión totalmente rotas imposible de revivirse aún en presencia de humedad.

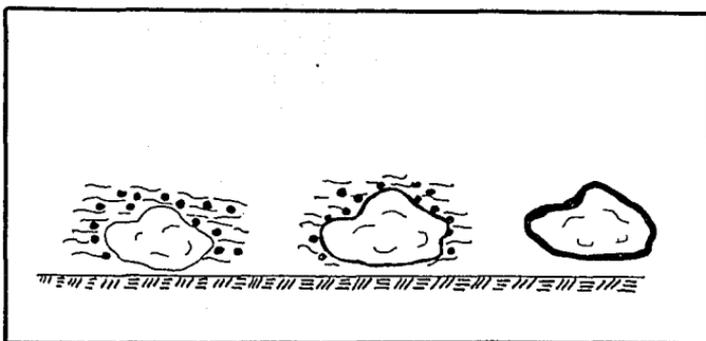
También se ha visto que se puede hacer romper las emulsiones aniónicas o catiónicas, introduciendo un ácido, en un caso, o de una base en el otro, al introducir estos elementos, se vio que se produce la neutralización de los iones que envuelven a los glóbulos de cemento asfáltico, anulando así su efecto protector y permitiendo la coagulación de cemento asfáltico de la emulsión.

Son varios los factores que intervienen para provocar el rompimiento de las emulsiones sobre los materiales pétreos.

II.5.1 Rompimiento por evaporación del agua.

El agua, forma una película delgada sobre la superficie de -- las partículas del material pétreo y al evaporarse provoca -- una concentración de los glóbulos de cemento asfáltico, esto da como resultado un aumento de la fuerza de atracción molecular, que sobre pasa rápidamente a las fuerzas de repulsión electrostáticas.

Por otro parte, el agua evaporada causa el aumento de la alcalinidad o la acidez de la emulsión, y como hemos visto que este incremento dentro de ciertos límites, produce el rompimiento de la emulsión.



Pasos por los que atraviesa una emulsión asfáltica hasta tener la "rotura" completa ante un material-pétreo.

II.5.2 Rompimiento por Reacción.

Puestos en presencia de la fase acuosa de la emulsión asfáltica los pétreos considerados, se da lugar a la formación de un compuesto insoluble, entre el material pétreo y la emulsión asfáltica, se produce la ruptura y también la adhesividad. Para ello se distinguen dos tipos de materiales: los materiales "alcalinos" y los materiales "ácidos".

II.5.2.1 Materiales alcalinos.

El material alcalino típico es la caliza pura, constituida de carbonato de calcio CO_3Ca . Puesta en presencia de la emulsión asfáltica, el carbonato de calcio, que es muy poco soluble en agua, se ioniza dentro de la fase acuosa.

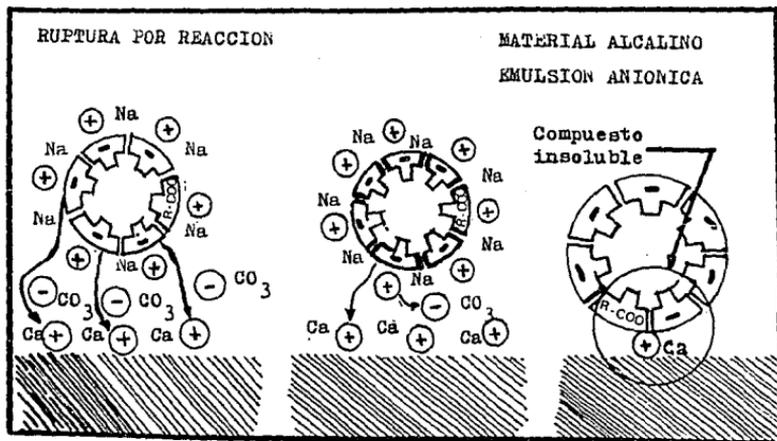
Una parte de los cationes (Ca) son absorbidos y fijados firmemente a la superficie del material, en razón de su afinidad por los aniones (CO_3 carbonato); el resto de los cationes --- (Ca calcio), así como los aniones (CO_3) penetrarán en el inferior de la fase acuosa y queda con mucha movilidad.

II.5.2.1.1 Caso de las Emulsiones Aniónicas.

Los glóbulos de asfalto de una emulsión aniónica, están cubiertos de aniones (R-COO) absorbidos y solidamente adheridos y sufrirán una atracción entre estos aniones y los cationes (Ca) del material pétreo.

Los iones (Na) y del carbonato (CO_3), muy móviles, serán atrapados en la fase acuosa y formarán una molécula de jabón de cal insoluble, compuesta de dos átomos de R-COO por un átomo de Ca. Habrá una verdadera liga entre el glóbulo de asfalto y el material calizo.

En este caso se habrá producido la ruptura de la emulsión asfáltica, acompañada a un fenómeno de adherencia.

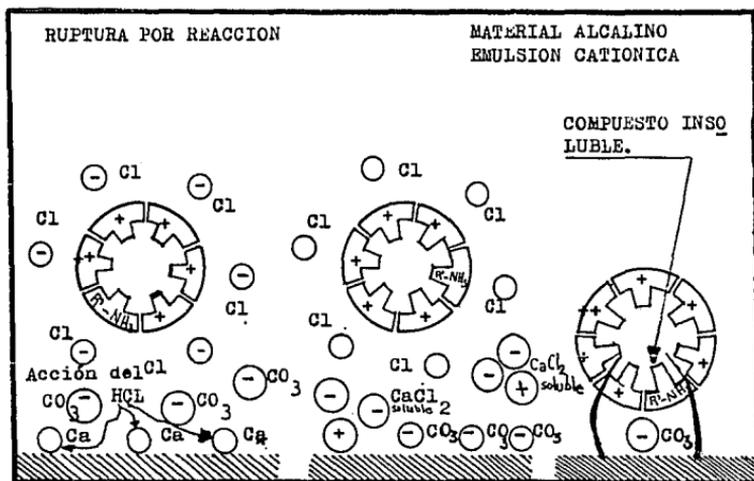


II.5.2.1.2 Caso de una Emulsión Catiónica.

Si la emulsión utilizada es del tipo catiónico, habrá primero el ataque del ácido contenido en la fase acuosa al material calizo y se formará un cloruro de calcio soluble, que se difundirá.

Los cationes del calcio, habiendo sido utilizados de esta manera en la formación del cloruro, estos son los aniones de carbonato (CO_3) que vienen a rodear la superficie del material.

Tendremos la presencia de glóbulos de cemento asfáltico cargados positivamente, como se ha visto y la superficie del material, cubierto de aniones de carbonato (CO_3).



Los glóbulos serán de esta manera atraídos hacia el material y la ruptura se producirá acompañado de adhesividad, debido a la formación de una sal insoluble (Carbonato de amina), que es un verdadero cementante entre el material calizo y el ce--

mento asfáltico.

II.5.2.2 Materiales Acidos

El material ácido o de naturaleza negativo está constituido - por sílice o dióxido de sílice puro (SiO_2) o por silicatos. Los fenómenos de ionización, son mucho más complejos en este - caso que con los materiales calizos, se desarrollan en presencia de la fase acuosa de la emulsión asfáltica.

Esquemáticamente, se puede decir, que considerando por ejemplo el caso puramente teórico del ácido ortosilícico SiO_4H_4 - que:

- Los aniones (SiO_4) son absorbidos fuertemente en la superficie del material.
- Los cationes (H) son absorbidos por el agua.

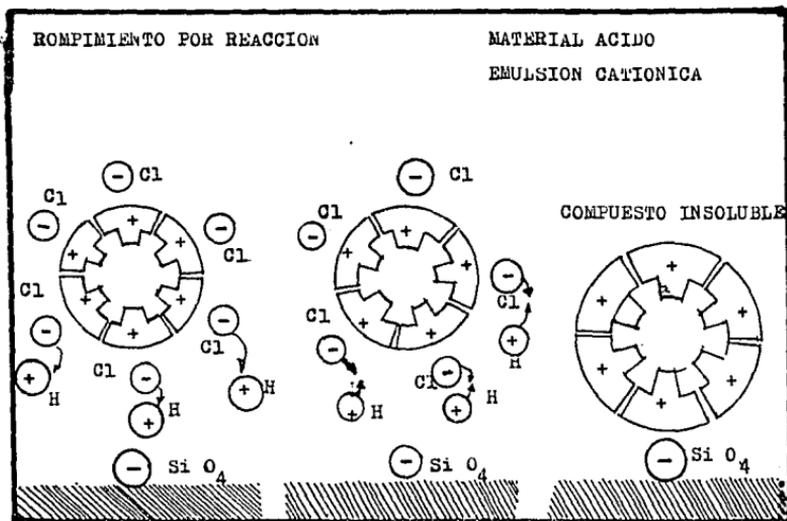
II.5.2.2.1 Caso de la Emulsión Catiónica.

Puestos en presencia de un material ácido, los glóbulos de cemento asfáltico de una emulsión catiónica, cargada positiva - mente, van a ser atraídos por los iones SiO_4 , cargados negativamente que rodean al material.

La capa protectora de aniones (Cl), que rodean cada glóbulo, será neutralizada por los cationes (H).

Se producirá así la ruptura de la emulsión y la adhesividad - del cemento asfáltico, con el material pétreo debido a la formación de un compuesto insoluble.

La experiencia muestra que este ligante se forma casi instrantáneamente .



II.5.2.2.2 Caso de la emulsión aniónica.

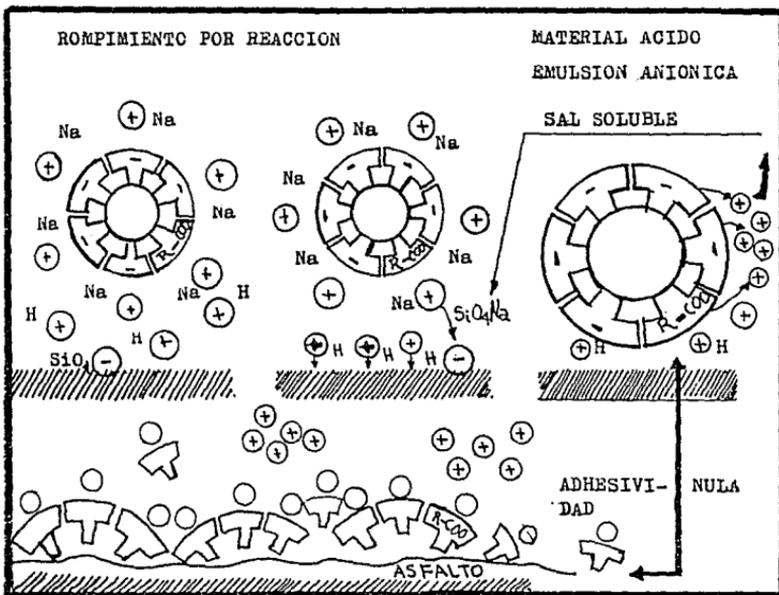
En este caso, los glóbulos cargados negativamente no tienen ninguna atracción hacia los aniones SiO₄ (silicato).

Se observa perfectamente, por similitud con el caso del material alcalino-emulsión catiónica, acción de los cationes sodio (Na) de la película protectora, sobre los aniones (SiO₄⁻) y la formación de un silicato soluble.

Pero la acción siguiente de los aniones (R-COO) del cemento asfáltico sobre los cationes (H), produce un ácido graso inactivo.

Por lo tanto no se tendrá formación del cementante.

Se observa de esta forma la ruptura de la emulsión, pero no hay adhesividad, ya que no se forma "ligante" como en los otros casos, sobre materiales estudiados.



II.5.2.3 Materiales Mixtos.

Anteriormente se trato el caso de ruptura y la adhesividad; - por una parte, sobre materiales alcalinos y por otra, sobre - materiales ácidos.

De hecho, casi la totalidad de los materiales empleados en la industria de carreteras, son materiales "Mixtos", en parte alcalinos, en parte ácidos. Es así como el 75% de la corteza -- terrestre, está compuesta de silicatos, que caen en esta cate- goría.

Esta doble naturaleza, alcalina y ácida, se aplica de la si- guiente manera : de silicato SiO_4 , cristal iónico, se presen- ta bajo la forma de un tetraedro (ión de silicio al centro, io- nes de oxígeno en los vertices), en el que cada átomo de oxi- geno esta saturado; algunas de estas valencias libres servi--

rán para asegurar la liga entre los diversos tetraedros, pero subsistirán en la periferia iones de oxígeno existiendo una -valencia negativa libre.

También, sucedera frecuentemente que los átomos de calcio divalentes, se combinen con estos tetraedros, de sílice, ya sea entre dos tetraedros, neutralizando sus valencias y la valencia libre de los átomos de oxígeno vecinos o ya sea en el exterior del cristal, neutralizando la valencia libre de oxígeno pero conservando una valencia positiva libre, (Recordando que la valencia es el número de electrones ganados o perdidos por un átomo durante un cambio químico).

El silicato puede estar así, no saturado, semi-saturado o completamente saturado, presentado en su periferia valencias negativas, alternando con positivas.

Se sabe que es la relación SiO_4/Ca la que condiciona el signo de la carga que lleva el material.

La tabla que se muestra más adelante, da el signo de los materiales, en función de su contenido de sílice ($Si O_2$).

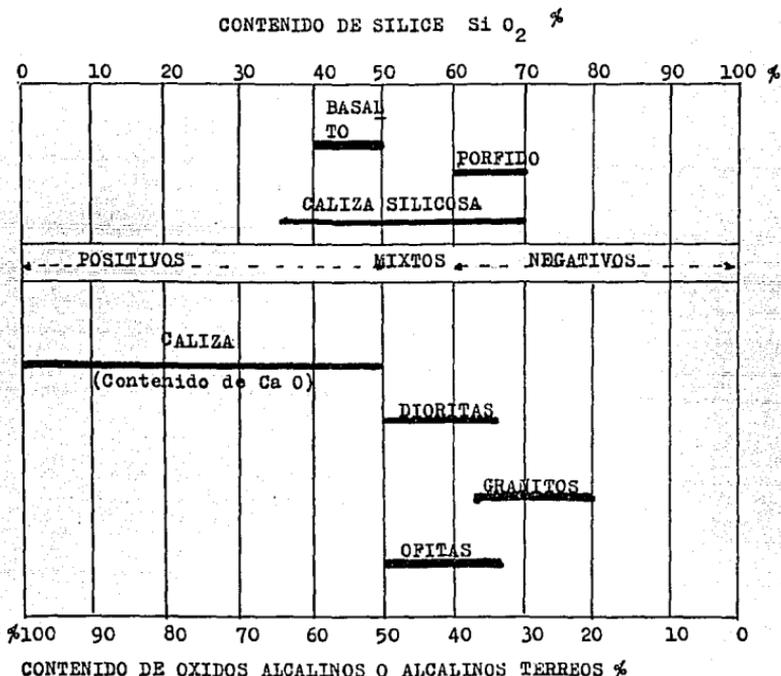
El tipo de emulsión asfáltica por utilizar será escogido en función del lugar que ocupa en esta tabla el material considerado:

- Emulsión aniónica para materiales "positivos" o mixtos.
- Emulsión catiónica para materiales mixtos o "negativos".

Es prudente, cada vez que se encuentre uno en presencia de -materiales mixtos, utilizar una emulsión bi-activa, es decir, susceptibles de intercambiar iones con las dos categorías de -materiales.

Como se ha visto, la emulsión catiónica presenta esta propiedad: "adhesivo polivalente".

La rapidez de formación del compuesto insoluble obtenido con la emulsión catiónica, es otra razón para preferirla cada vez que se toman riesgos de desprendimiento como en el caso de climas húmedos y fríos, y en que se tenga tránsito inmediato y muy importante en la carretera.



La clasificación anterior tiene en cuenta la proporción en sílice que contiene: ácidas, son las que tienen más del 66% de dióxido de silicio (SiO_2 también conocido como sílice puro) intermedias o mixtas, las que contienen entre 52 y 66 por ciento del mismo mineral y básicas o alcalinas las que tienen menos 52 por ciento.

Durante muchos años, se ha tenido la idea y se ha afirmado en varios trabajos que los materiales silíceos ácidos tienen cargas eléctricas negativas y que los materiales básicos o alcalinos cargas positivas . Sin embargo, en 1961 un trabajo presentado por Mc. Glashan y Rule titulado " Determination of -- eletrokinetic potential and surface charge of highway agregates" y otro en 1967 W.Cullen Sherwood titulado " Determinati-- ón of surface charges of certain highway aggregates by stream-- ing potential methods", an establecido la afirmación suigui-- ente: "Todos los agregados pétreos estudiados tienen cargas - eléctricas negativas" éstos incluyen granitos, calizas, dalo-- mitas, mármol, arenísticas, basalto y cuarzo. Esta afirmación en ambos trabajos, ha sido verificado en 1976 en un trabajo-- presentado por J. Dybalski titulado "The Chemistry of Asphalt Emulsions". Lo anterior pone en ventaja a las emulsiones cati-- ónicas sobre las emulsiones aniónicas.

C A P I T U L O I I I

TIPOS DE EMULSIONES Y SU FABRICACION

III.1 Tipos de Emulsiones Asfálticas.

La secretaría de Comunicaciones y Transportes especifica tres clases generales de emulsiones asfálticas, da las pruebas y - especificaciones requeridas las cuales se estudian en el capítulo IV del presente trabajo. Las tres clases generales se conocen con los nombres de rompimiento rápido (R.R), rompimiento medio (R.M.) y rompimiento lento (R.L.).

Las clases de emulsiones asfálticas que se fabrican en México son las siguientes:

RR-2K o RR-C2	Emulsiones de rompimiento rápido
RR-3K o RR-C3	catiónicas.
RM-2K o RM-C2	Emulsiones de rompimiento medio
RM-3K o RM-C3	catiónicas.
RL-2K o RL-C2	Emulsiones de rompimiento lento
RL-3K o SS-C	catiónica.
SS-K o SS-C	Emulsiones superestabilizadas -
	catiónicas.
SS-A o SS-A	Emulsiones superestabilizadas -
	aniónicas.

En la clasificación anterior no se incluyen las emulsiones aniónicas ya que éstas solo se fabrican en casos especiales, - cuando los materiales pétreos por utilizar son en su mayor---

Cada emulsificante tiene características distintas de solubilidad, reactividad y suntuativas. La disponibilidad de una amplia gama de emulsificantes permite a los investigadores seleccionar aquel que satisfaga las necesidades apropiadas. En México existen varios laboratorios químicos que trabajan algunos tipos de emulsificantes, como Química Hercules, Mayer-de México, Macroquímica, Química O., etc.

Otro constituyente de gran importancia es el ajustador de P.H. que será un ácido para el caso de las emulsiones catiónicas o una base para las emulsiones aniónicas.

La concentración del ajustador de P.H. en la fase acuosa o --- continua según fórmulas típicas varía de 0.1 a 0.3 %, este - proporcionamiento es de gran importancia, por que, asegura la estabilidad del P.H. e implica asegurar la estabilidad de la - emulsión asfáltica, se acostumbra ajustar el P.H. de una emulsi- ón asfáltica catiónica con ácido clorhídrico (HCL). En el - caso de las emulsiones aniónicas se usa el hidróxido de Sodio (Sosa o NaOH), algunos fabricantes usan hidróxido de potasio- (KOH).

Una fórmula típica de emulsiones asfálticas catiónicas sería la siguiente:

Ingredientes	Partes
Cemento asfáltico	65
Agua	35
Redikote E-9	0.15 - 0.25
Acido clorhídrico	0.10 - 0.20

Con ácido clorhídrico se ajusta el P.H. de la emulsión asfáltica entre 6.0 y 6.5 .

RidiKote E-9 es un ejemplo de emulsificante con su nombre comercial.

De manera ilustrativa a continuación enlistare la formulación en porcentaje de la fase continua y discontinua, de las diferentes clases de emulsiones asfálticas que produce la fábrica de Irapuato Gto., propiedad de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (C.P.F.I.S.C.).

Emulsiones de rompimiento rápido catiónica : RR-2k

Fase discontinua: Porcentaje

Cemento asfáltico del No. 6 (C.A.-6)

Asfalto Rebajado FR-3 66%

Fase continua:

Emulcat 100 ó N-Estearil Polipropilen-

Diamina.

HCL

34%

Agua.

Emulsión de rompimiento rápido catiónica: RR-3k

Fase discontinua: Porcentaje

C.A. - 6

66%

FR - 3

Fase continua:

Emulcat 100

Farmit HT

34%

HCL

Agua

Emulsión de rompimiento medio catiónica : RM-3k

Fase discontinua:

CA-6

65%

FR - 3

Fase continua:

Emulcat 80 ó N- Alquil Polipropilen Poliamina

35%

HCL

AGUA

Emulsión de rompimiento medio catiónica : RM-2k

Fase discontinua: Porcentaje

C.A. -6

FR -3 65%

Fase continua:

Emulcat 80

Octadecenil Diamina 35%

HCL

Agua

Emulsión de rompimiento lento catiónica : RL-3k

C.A. -6 + del 80%

FR-3 - del 20% 60%

Fase continua:

Emulcat 80

HCL 40%

Agua

Emulsion de rompimiento superestable catiónica: SS-C

Fase discontinua Porcentaje

C.A. -6 60%

Fase continua:

Condensado de amina de cadena corta-
modificada con 7,5,3 y4 40%

Tetrahidroxitlevonol

HCL

Agua

Emulsión de rompimiento superestable aniónica: SS-A o ESE-A15

Fase discontinua:	Porcentaje
C.A. - 6	60%
Fase continua:	
Resina Vinsol	
Hidróxido de Sodio (NaOH)	40%
Agua	

Por razones obvias las empresas dedicadas a la fabricación de emulsiones asfálticas protegen sus patentes, por lo que no es posible dar una formulación más precisa sobre la composición de emulsiones asfálticas; pero si recordamos las proporciones factibles del emulsificante y el ajustador de P.H., nos podemos dar una mejor idea.

III.2 Fabricación de emulsiones asfálticas.

Las emulsiones de aceite en agua fabricadas de cemento asfáltico como la fase dispersa distribuida uniformemente en una fase continua, que es el agua conteniendo el emulsificante y ajustador de P.H., son la gran mayoría de las que actualmente se producen.

Las emulsiones asfálticas se producen mecánicamente dispersando el cemento asfáltico licuándolo en agua, con ayuda de un dispositivo mecánico de alta velocidad, como un molino coloidal, que es la pieza básica de una planta de emulsiones asfálticas, aunque también se emplean a veces homogenizadores y mezcladores, los cuales se usan en emulsiones de cemento asfáltico líquido de baja viscosidad, sin embargo, no se recordando su uso en cementos asfálticos del tipo usado en pavimentación se lleva a cabo por medio de una acción de cizalla-

dura que se imparte al liquido por un rotor girando a la velocidad de 1000 a 20000 r.p.m. y un estator. La emulsión pasa entre estas dos caras opuestas a traves de un espacio vacío - que puede ser tan pequeño como 0.00254 cm. Las caras del estator y rotor pueden ser completamente lisas, o pueden ser rugosas por una serie de corrugaciones concéntricas o radiales. El tipo de molino y la fuerza de corte desarrollada influyen en la calidad de las emulsiones asfálticas se ha demostrado - que para cuatro tamaños de holguras de la separación entre estator y rotor se obtienen emulsiones asfálticas con tamaño medio de partícula de 5.2; 6.0; 10.5 y 25.5 micras. Igualmente se ha detectado la importancia del número de revoluciones según los distintos resultados

Velocidad de rotación de motor en r.p.m.	4580	4500	4020	2000
Diámetro medio de los glóbulos de la emulsión (μ)	5.50	7.40	8.20	12.06

El buen tamaño de los globulos de cemento asfáltico nos proporciona una emulsión estable, sin embargo, cuando se obtienen globulos de tamaño grande resulta una emulsión tosca la cual es poco estable debido a la dificultad de controlar la floculación

Retornando a la fabricación de emulsiones asfálticas los emulsificantes pueden introducirse al sistema de producción de emulsiones en varias formas. La mayoría de éstos son solubles en aceite y deben mezclarse con un ácido, para obtener solubilidad en agua, aparte de que tambien el acido servirá de ajustador

tador de P.H. como ya se habia mencionado. Esto se hace en -- mezclador donde se vierte el emulsificante en agua tibia que contiene el ácido y se agita hasta disolverlo completamente. Un método alternativo es agregar el emulsificante directamente al cemento asfáltico licuado justamente antes de su introducción al molino coloidal. En este caso, el ácido deberá agregarse directamente al agua, y la combinación emulsificante-ácido ocurrirá en la cámara de emulsificación o cortante del molino coloidal, eliminandose así el depósito para el mezclado previo con el agua. Otros emulsificantes son solubles en agua pudiendo disolverse en el depósito del agua o inyectarse directamente a la línea de alimentación justo antes de la camara del molino.

El cemento asfáltico debe calentarse para hacerlo fluido, antes de entrar al molino coloidal a una temperatura mayor que la del punto de reblandecimiento.

La mayoría de los cementos asfálticos no tienen flujo newtoniano, sino hasta que están suficientemente calientes, se recomienda una temperatura entre 121°C (250°F) y 149°C (300°F) para emulsificar el cemento asfáltico. (El flujo Newtoniano: es aquel que se presenta en un liquido que se mueve a la aplicación de una fuerza, por pequeña que esta sea y para el que su gasto estará en función directa de la fuerza aplicada.).

Se usarán bombas separadas para alimentar y medir el cemento-asfáltico y la solución emulsificante al molino coloidal, puesto que la solución emulsificante es altamente corrosiva, es necesario usar bombas protegidas contra la corrosión.

Las emulsiones para carreteras contienen del 57% al 70% de cemento asfáltico debiendo mantener la proporción a lo largo de toda la producción.

Esto se hace midiendo las fases (continua y discontinua) separadamente o regularizando la temperatura tanto de las fases -

separadamente como las de la salida del producto terminado. Si la proporción se hace midiendo gastos, es importante que el sistema este equipado para recircular las fases separadas y a través del medidor de tal forma que el establecimiento de la proporción se haga antes de dirigir los componentes al molino coloidal. Esto elimina el desperdicio de emulsión que pudiera ocurrir si el ajuste se hace durante la producción. Otro método utilizado es el método de regulación por temperatura, el cual consiste en regular la temperatura de entrada procurando mantenerla constante hasta su salida.

En ambos casos resulta muy importante que la temperatura de ambas fases permanezca constante durante el proceso de fabricación para obtener un producto de calidad uniforme. Se considera una buena medida de control, observar la emulsión y tomar muestras periódicas a la salida para determinar contenidos asfálticos.

La variación de temperatura afecta las propiedades del flujo dentro del molino coloidal así como la solubilidad de los aditivos.

El desgaste debido a la corrosión puede modificar el gasto de las bombas.

Deben cuidarse los procedimientos adecuados de preparación de la solución emulsificante para cada diferente producción de emulsión.

Todos los factores tienen efecto en la calidad de la emulsión, algunos más drásticamente que otros. Posiblemente la fuente más común de inconsistencia en la producción se encuentran en el cemento asfáltico mismo. La fuente del petróleo crudo, el método de refinación, el grado de oxidación y la presencia de cualquier contaminante tal como hidróxido o sulfuro de sodio pueden ser factores que combinen enormemente las propiedades de la emulsión terminada.

III.2.1 Almacenamiento de Emulsiones Asfálticas.

La emulsión asfáltica prácticamente nunca se fabrica con la demanda, sería muy costoso mantener el ligante a la temperatura de fabricación; es evidentemente más lógico almacenar - en frío que almacenar en caliente. Por otra parte, por razones que son más técnicas que económicas, las empresas han -- perfeccionado grupos de fabricación cuya producción horaria supera el consumo en las obras de utilización, siendo este - consumo a menudo irregular y no siempre previsible, dados -- los numerosos factores a que esta sometida la ejecución de - las obras.

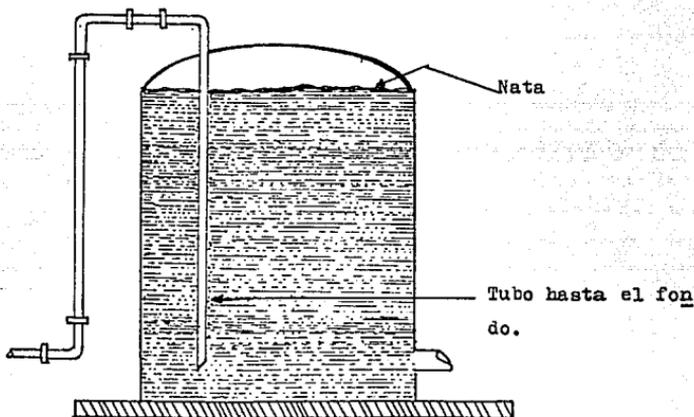
El almacenamiento se efectua :

- por una parte en las mismas fábricas de producción;
- por otra parte en depósitos fijos o móviles, colocados en - lugares próximos a los de utilización.

Las precauciones que se deben de tomar son las siguientes : los depósitos deben estar libres de grandes natas de otros - productos asfálticos, y no contaminados con materiales extra ños o emulsiones diferentes a las que se va a almacenar. Cuando se hayan almacenado emulsiones diferentes a las que se va a almacenar. Cuando se hayan almacenado emulsiones en un tanque, se deben identificar el tipo de emulsión existente. Si contuvo emulsión aniónica y se va almacenar emulsión cati ónica, será necesario neutralizar la acción de aquélla lavan do el tanque; primero con agua y posteriormente con ácido -- clorhídrico diluido al 1%. En caso contrario, cuando se trata de almacenar emulsión aniónica, pero el tanque ha sido utilizado con emulsión catiónica, se tendrá que lavar con a-- gua y neutralizarlo con soea cáustica al 0.3 %.

Para el llenado de un tanque de almacenamiento y la descarga de más emulsión sobre la ya almacenada, es necesario que el-

tubo de descarga llegue al fondo para no romper la nata de la superficie. De otra forma se correrá el riesgo de obstruir las bombas. La nata es la película gruesa o delgada de ligante que, en contacto con el aire se forma siempre en la superficie de la emulsión después de un almacenamiento prolongado. Esta película no representa ningún inconveniente, tiene aún la ventaja de proteger el ligante del contacto con el aire.



INSTALACION DE ALMACENAMIENTO CORRECTA

Las bombas que se emplean pueden ser de engranes o centrífugas, cubiertas con epoxi o nylon, todo dependerá de la viscosidad que tengan las emulsiones. Cuando son muy viscosas ocasionalmente se les puede calentar ligeramente a no más de 40°C , ya que se afecta la estabilidad química y se puede causar su rompimiento. En casos especiales cuando el laboratorio vigila muy estrechamente la calidad de la emulsión, se tomarán muestras de cada envío que salga de la fábrica.

La toma de muestras de un camión o carro-tanque, cuando se esta cargando se realiza en diferentes tiempos de la carga y finalmente se hace una muestra integral. La emulsión se pasa por el tamiz número 20 y se envasa en botellas perfectamente limpias y tratadas con el jabón de la misma emulsión que se va a envasar, poniendo toda la información posible para su identificación.

Se da una muestra de un litro al transportista y otra idéntica se guarda en la fábrica hasta que haya sido aceptada y aplicada la emulsión por el constructor.

Cuando se presentan temperaturas muy bajas capaces de congelar la emulsión parcial o totalmente; dando como resultado el rompimiento de éste en los tanques de almacenamiento y aun en algunos casos ya aplicada y rota parcialmente. Las precauciones que es necesario tomar son obvias, puesto que es conocido que el agua comienza a congelarse a los 4°C y la emulsión, al contener agua en su composición, queda expuesta a este riesgo.

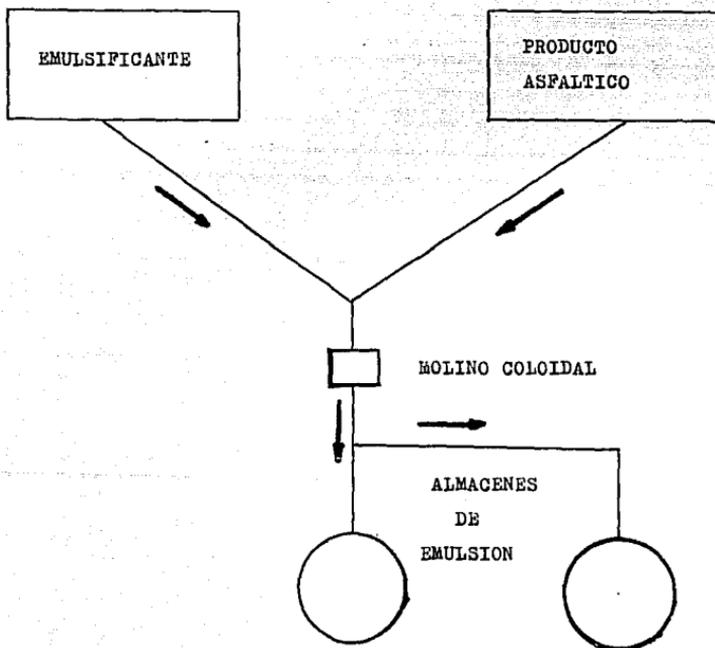
Cuando una fábrica o compañía está establecida permanentemente en una región donde se registran temperaturas muy bajas, los tanques deben tener un sistema de calentamiento adecuado o estar cubierto con algún sistema aislante, para evitar la congelación.

Cuando los tanques de almacenamiento sean los que usa una compañía constructora en el campo de trabajo, los depósitos se protegerán con mechones alrededor, lo que es suficiente para evitar que baje la temperatura. Si los tanques están enterrados, no hay necesidad de tomar otra medida para evitar la congelación.

III.2.2 Elementos principales de una fábrica de Emulsiones - Asfálticas.

Una fábrica puede ser muy reducida y tener todos los adelantos necesarios para estar al día en maquinaria y accesorios. Puede construirse en locales rústicos, adaptados únicamente para la producción independientemente del aspecto arquitectónico.

Una manera simplificada de representar una fábrica de emulsiones asfálticas sería la siguiente :

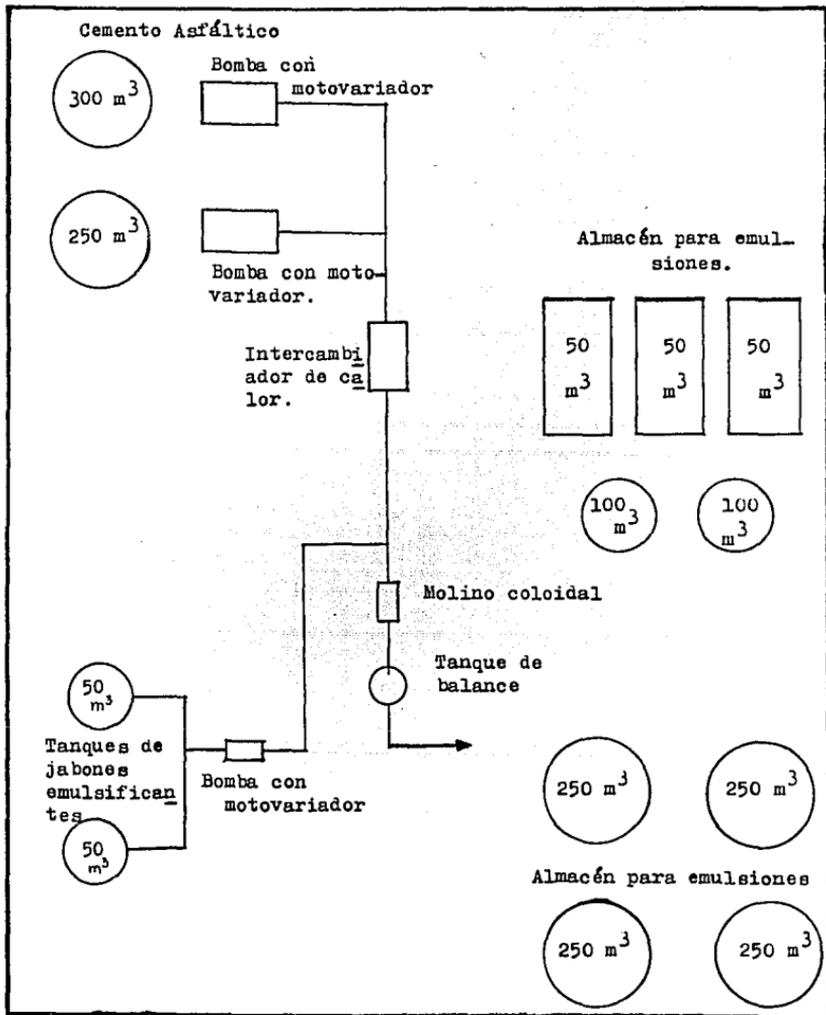


En general una fábrica de emulsiones consta de los siguientes elementos :

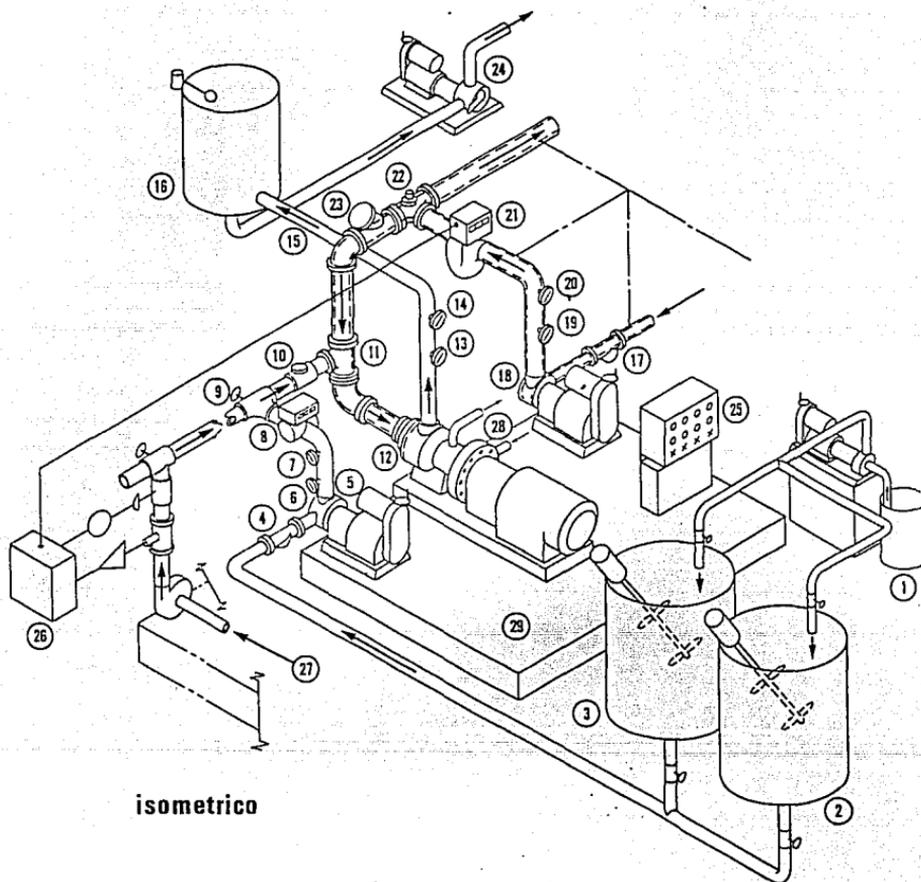
- Sistema de almacenamiento de materias primas.
(Ligantes, emulsificantes, fluidificantes, aditivos, etc.)
- Sistema de bombas y tuberías para incorporación, mezcla, dosificación de componentes y almacenamiento.
- Sistema de calentamiento: fuego directo con quemadores de petróleo o fuel, vapor de agua y aceite térmico. El primer sistema tiende a eliminarse en la mayor parte de las plantas fijas. También se estudian otros sistemas como la energía solar para calentar agua.
- Sistema de fabricación : homogenizadores, difusores y molinos coloidales. De la máquina elegida para la fabricación depende gran parte de las propiedades finales de la emulsión.

Para tener una idea mas completa sobre las instalaciones de una fabrica de emulsiones asfálticas a continuación se muestra el croquis de la fabrica de Irapuato Gto., propiedad de C.P.F.I.S.C. También se enumeran los elementos que constituyen una planta productora de emulsiones en la ilustración -- posterior.

Croquis de la fábrica de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos de Irapuato, Gto.



PLANTA DE EMULSIONES



isometrico

descripción (siguiente hoja)

- 1.- Preparación del emulsificante químico concentrado al tanque de almacenamiento de solución.
- 2.- Tanque de solución emulsificante diluido de 6,000 a 8,000 galones de capacidad. De suministro local.
- 3.- Tanque de solución emulsificante diluido de 6,000 a 8,000 galones de capacidad. De suministro local. El segundo tanque facilita una producción continua interrumpida.
- 4.- Colador en la línea de alimentación de solución.
- 5.- Bomba de alimentación de solución emulsificante. Para emulsiones catiónicas. Acero inoxidable positivo con velocidad variable o sistema de control de mezclado recomendado.
- 6.- Nivel de presión. Descarga de la bomba de solución.
- 7.- Termómetro. Descarga de la bomba de la solución.
- 8.- Medidor. (Solución Acuosa). Con un contador en galones llenados en acero inoxidable.
- 9.- Válvula By Pass. Regreso al tanque de solución diluida.
- 10.- Válvula Check. Línea de solución diluida.
- 11.- Mezclador múltiple especial para asfaltos y soluciones a la entrada del molino coloidal Charlotte.
- 12.- Molino Coloidal.
- 13.- Termómetro. Descarga del Molino Coloidal.
- 14.- Nivel de presión. Descarga del Molino Coloidal.
- 15.- Línea de emulsión final al tanque de agitación.
- 16.- Tanque de agitación de 500 a 1000 galones de capacidad para emulsión. De suministro local.
- 17.- Camisa del colador en la línea de asfalto en sistema C/A.
- 18.- Bomba de alimentación de asfalto. De desplazamiento positivo-encamisado y con velocidad variable de motor.
- 19.- Nivel de presión. Bomba de descarga del asfalto.
- 20.- Nivel de temperatura. Bomba de descarga del asfalto.
- 21.- Medidor (asfalto) con un medidor en galones.
- 22.- Válvula encamisada. Para el resiclo al almacenamiento o directo en sistema C/A.
- 23.- Válvula Check. Línea de alimentación del asfalto.
- 24.- Bomba de transferencia de la emulsión. Encamisada con motor de velocidad variable. Para transferencia de emulsión de tanque de agitación al de almacenamiento.
- 25.- Panel de control eléctrico con boton Push On/Off para bombas y molino coloidal.
- 26.- Alternando. Dos componentes de mezclado por sistemas de control- consistiendo de bomba centrifugas de resistencia a la corrosión- para la alimentación, medidor de soluciones, medidor de P.D. asfáltica, válvula de control de aire y control digital.

- 27.- Solución emulsificante diluida para alternar el control de -mezclado.
- 28.- Relación de intercambio del molino. Agua fría de entrada y-salida.
- 29.- Plataforma antiderrapante.

C A P I T U L O I V

ESPECIFICACIONES Y PRUEBAS PARA EL USO DE EMULSIONES ASPALTICAS

IV.1 Principales pruebas que se le realizan a las emulsiones asfálticas.

En este tema se describe brevemente las principales pruebas - que se le realizan a las emulsiones asfálticas las que se indican con todo detalle en la Pate Novena, Libro primero de - Las Especificaciones Generales de Construcción de la S.C.T.

IV.1.1 Pruebas al material asfaltico.

IV.1.1.1 Viscosidad "Saybolt-Furol"

Esta prueba tiene por objeto determinar el estado de fluides de las emulsiones asfálticas, a las temperaturas de 25 y 50 grados centigrados.

Para realizar esta prueba se hace uso de un viscosímetro --- Saybólt con orificio Furol, con el cual se va el tiempo que tarda la emulsión asfáltica en llenar un matras aforado de 60 ml. cuando más viscosas son las emulsiones asfálticas más tiempo sera necesario para pasar a traves del orificio Furol el tiempo que tarda en pasar se le denomina grados de viscosidad.

IV.1.1.2 RESIDUO por destilación.

Esta prueba tiene por objeto determinar las proporciones de - agua y de residuo de cemento asfáltico en una emulsión. El - residuo de la destilación puede utilizarse para efectuar las pruebas de penetración, ductilidad y solubilidad en tetracloruro de carbono

En esta prueba se utilizan 200 gr de emulsión asfáltica, la cual se coloca en un alambique cilíndrico de fierro, que se conecta a un refrigerante mediante un tubo de conexión. Se designa W_i al peso del alambique, los accesorios y la emulsión asfáltica. El alambique con la emulsión asfáltica se calienta mediante quemadores circulares, con los cuales empezará a evaporarse el agua, la que al pasar por el refrigerante se condensará y se reciben en una probeta que se encuentra al final del refrigerante; en la parte superior del alambique se coloca un termómetro, donde se ve la temperatura para ir regulando el calor, cuando la temperatura de la muestra llega a 260°C se mantiene durante 15 minutos, y se suspende el calor. Se pesa nuevamente el alambique conteniendo la emulsión asfáltica y se designa a este peso como W_f . Para obtener el residuo de la destilación en porcentaje se emplea la siguiente expresión :

$$R_{\%} = \frac{200 - (W_i - W_f)}{2}$$

Cuando sea difícil destilar una emulsión asfáltica debido a la excesiva formación de espuma, será necesario utilizar un alambique modificado con cámara de expansión. En caso de que persista el problema de la espuma y ésta trate de llegar al tubo de conexión; se retiran los quemadores, y sin mover el alambique, se sumerge en un recipiente durante el tiempo necesario para detener la espuma; posteriormente se reanuda la aplicación del calor.

IV.1.1.3 Residuo por evaporación.

El objeto de esta prueba consiste en determinar el residuo de las emulsiones asfálticas en porcentaje, mediante la evaporación en el horno. El residuo así obtenido puede dar valores de penetración y ductilidad inferiores a los obtenidos por destilación, por que, en ciertos casos, no puede utili-

zarse esta prueba para tener una idea de tales propiedades. En tres vasos de presipitado previamente pesados con su correspondiente agitador de vidrio y anotados como W_t , se pesan 100gr. de emulsión previamente homogenizada en cada uno de los vasos; en seguida se colocan los vasos durante dos horas en un horno eléctrico de temperatura controlable, a una temperatura de aproximadamente 163°C ; transcurrido este lapso, se retiran los vasos del horno y se uniformiza el residuo con el agitador de vidrio, se vuelven a colocar en el horno durante una hora mas a la misma temperatura. Finalmente se sacan y se dejan enfriar a la temperatura ambiente, se pesan los vasos con el agitador y el residuo, designandose a este peso W_r . Se calcula y reporta el contenido del residuo de la emulsión, utilizando la formula siguiente:

$$R\% = \frac{W_r - W_t}{W_t} \times 100$$

IV.1.1.4 Prueba de Asentamiento.

El objeto de esta prueba es obtener un índice de la tendencia que los globulos del cemento asfáltico tienen para sedimentarse, durante un almacenamiento prolongado de las emulsiones asfálticas.

En esta prueba se colocan 500 grs. de emulsión en una probeta que se tapará herméticamente y se deja reposar por 5 días al final de los cuales se extraen con cuidado con una pipeta 50 grs. de la parte superior, y mediante la prueba de residuo por evaporación se calculará el porcentaje de cemento asfáltico; en seguida se extraen y se desechan 400 grs. y, por último se obtendrá por evaporación el contenido de cemento asfáltico de los últimos 50grs.; el asentamiento en 5 días es la diferencia de los contenidos de cemento asfáltico que se obtuvieron de la parte inferior y de la superior.

IV.1.1.5 Demulsibilidad con cloruro de calcio.

Esta prueba se aplica a las emulsiones aniónicas. Sirve para conocer la velocidad de ruptura de las emulsiones.

0.35 ml de 0.02N de CaCl_2 (si se trata de una emulsión para riego) 0.50 ml de 0.1N de CaCl_2 (para el caso de una emulsión para mezclado).

La emulsión y la solución de CaCl_2 se calientan previamente a la temperatura de 25°C ; se incorpora la solución, revolviendo vigorosamente; se vierte luego la emulsión sobre una malla AFNOR No. 23; después se enjuaga el vaso y el agitador con agua destilada, se vierte el agua del lavado sobre la malla hasta que ésta última salga incolora; se obtiene entonces el residuo mediante la prueba de residuo por evaporación.

Sea A el peso medio en gramos de los resultados de la prueba del residuo por evaporación y B, el peso del residuo por evaporación en 100 gr de emulsión, el porcentaje de demulsibilidad es igual a :

$$d = \frac{A}{B} \cdot 100$$

IV.1.1.6 Retenido en la malla no. 20

El objeto de esta prueba es determinar cuantitativamente el contenido de cemento asfáltico presente en forma de glóbulos relativamente grandes y que pueden obstruir el espesor y la uniformidad de la película de cemento asfáltico sobre las partículas de agregado pétreo; además que el tamaño de los glóbulos indican una buena o mala estabilidad de la emulsión en ese estado. Los glóbulos grandes indican que la emulsión va tener tendencia a sedimentarse, y por esto puede causar su rompimiento.

Esta prueba inicia pesando la malla y su fondo, registrando el peso total como Wt; se necesitaran 500gr de emulsión as-

fáltica la que se hace pasar por la malla no. 20; se laba el equipo usado con agua destilada; posteriormente se coloca - el fondo a la malla y se introducen en el horno a una temperatura de 105°C durante dos horas; se deja enfriar y se pesa registrando este peso como W_r .

Para el cálculo del material retenido en la malla no. 20, se utiliza la siguiente fórmula :

$$R_{20} = \frac{W_r - W_t}{500} \cdot 100$$

IV.1.1.7 Capacidad de cubrimiento del material pétreo en condiciones de trabajo y resistencia a la acción del agua.

Este método sirve para determinar las propiedades de una emulsión asfáltica, en lo que respecta a su facilidad para cubrir completamente el agregado pétreo, soportando una acción de mezclado mientras permanece como una película sobre el agregado y resistir la acción de agua de lavado después del fraguado. Este método ayuda a identificar la emulsión asfáltica apropiada para mezclarse con los materiales pétreos gruesos que se utilizan en obra. Para realizar esta prueba se necesitan 465 g. de material pétreo calizo seran 461 g. mas 4g. de carbonato de calcio en polvo.

Se coloca el material pétreo en una charola , se añade la emulsión asfáltica mezclando con una espátula durante 5 minutos, al final se escurre para eliminar el exeso; posteriormente se coloca la mitad de la mezcla sobre el papel absorbente, y se estimara el cubrimiento como: bueno, regular o malo; la muestra sobrante se riega abundantemente con agua - hasta que el agua salga clara; enseguida se coloca sobre un papel absorbente y se estima el cubrimiento del agregado. Se

Para realizar esta prueba se necesita un dispositivo que proporcione una corriente eléctrica directa de 12 voltios y dos electrodos.

Se vierte en un vaso presipitado la emulsión asfáltica, la suficiente para cubrir los electrodos y que éstos a su vez no toquen el fondo ni las paredes del vaso; en seguida se hace pasar corriente eléctrica con una intensidad de 8 milianperios, a partir de este momento, se cuenta el tiempo, cuando hayan transcurrido 30 minutos de aplicación de la corriente; se desconectan los electrodos y se lavan. Se observa si hay cemento asfáltico depositado en los electrodos; una emulsión catiónica depositará una cantidad apreciable de cemento asfáltico sobre el cátodo o electrodo negativo, mientras que el ánodo o electrodo positivo se conservará relativamente -- limpio; lo contrario será con la emulsión aniónica.

IV.1.1.10 Determinación del Potencial Hidrógeno (P.H.)

Esta prueba sirve para determinar el potencial de hidrógeno de la fase acuosa de una emulsión asfáltica . El P.H. es el logaritmo con signo contrario de la concentración de iones de hidrógeno H^+ .

Para realizar esta prueba se utiliza un potenciómetro con escala doble (una para la banda ácida y otra para la alcalina) con el cual se tomaran las lecturas del P.H., al activarse con los electrodos.

Antes de iniciarse la prueba se calibran los electrodos, los cuales se sumergen en una solución de referencia y se anota la lectura como P.H.₁ ya calibrados los electrodos se sumergen en 50 ml. de emulsión asfáltica la que se encuentra contenida en un vaso de polietileno, se agita el vaso durante algunos segundos, y se determina la lectura P.H.₂ con el objeto de verificar la calibración de los electrodos, y se ob-

anotan en el reporte todas las observaciones que puedan ser de utilidad para calificar los materiales.

Esta prueba tambien se realiza a materiales humedos, por lo que, se necesitará proporcionar una humedad del 2% al material humedo, y se procede de la misma manera anteriormente descrita.

IV.1.1.8 Prueba de miscibilidad con cemento Portland.

Se aplica para conocer la estabilidad de la emulsión asfáltica al mezclado con un material tan fino como el cemento.

Se agregan 100 g. de emulsión asfáltica a la temperatura de 25°C a 50g de cemento Portland a la misma temperatura, y se mezclan con una varilla durante un minuto para tener una mezcla uniforme, se agrega en seguida 150g de agua destilada y se continúa el mezclado por 3 minutos más ; en seguida se criba la mezcla a través de la malla no.14, cuyo peso, incluyendo el del fondo, habrá anotado previamente como Wt; se lavan con agua destilada el recipiente en que se hizo la mezcla y se hace pasar el lavado a través de la malla, la que a continuación se lava tambien; se coloca el fondo a la malla y se secan en el horno a la temperatura de 163°C , hasta peso constante. Se pesa la malla con su fondo y el retenido, anotando el peso como Wr. El peso del material retenido en la malla y el fondo serán el resultado de la prueba de miscibilidad con cemento Portland, se obtiene con la siguiente expresión:

$$M = Wt - Wr$$

IV.1.1.9 Carga de la partícula.

Esta prueba tiene por objeto identificar las emulsiones asfálticas aniónicas o catiónicas a través de su carga eléctrica. Los globulos de cemento asfáltico con carga eléctrica (+) se clasifican como catiónicas; los de carga negativa en aniónicas.

tiene la lectura P.H. ₃ .

Se reporta la lectura P.H. ₂ y se indica la temperatura de la prueba, la qu. debe estar comprendida entre 20 y 30 ° C .

IV.1.1.11 Disolvente en volumen.

Para obtener una emulsión de baja viscosidad en lugar de utilizar cemento asfáltico se utiliza rebajado asfáltico, por lo que el objetivo de esta prueba será determinar el volumen de disolvente usado y el tipo.

El disolvente en volumen se obtiene después de realizar la prueba de destilación, teniendo una pequeña modificación ya que en esta prueba se toma la lectura en la cual cae la primera gota en la probeta y posteriormente los volúmenes obtenidos a diferentes temperaturas marcadas en el procedimiento de la prueba: con este último dato y la temperatura de la primera gota se determina el tipo de rebajado que se trate. El destilado obtenido en la probeta se deja reposar durante 2 o 3 horas y posteriormente se observa el volumen del disolvente.

IV.1.2 Pruebas al residuo de la destilación

IV.1.2.1 Penetración.

Esta prueba se le hace al residuo de la emulsión asfáltica como objetivo determinar la dureza o consistencia relativamente de un cemento asfáltico.

Se realiza por medio del penetrómetro que consta de un vástago lastrado que pesa 200g y en el extremo inferior tiene una aguja normalizada. Se coloca el residuo asfáltico en un recipiente de fondo plano; se calienta en baño maría a la temperatura de prueba, que pueden ser de 25°C a 46 °C; ya teniendo la temperatura específica se coloca en el soporte del pe-

netrómetro, y se pone en contacto con el aguja, se deja el -
vástago libre durante 5 seg. al cabo de los cuales se ve en
la carátula las décimas de milímetro que penetra la aguja, -
las cuales indican los grados de penetración.

IV.1.2.2 Ductilidad

La ductilidad de los materiales asfálticos, se mide por la -
distancia en la cual se puede estirar un espécimen antes de
romperse.

Será necesario elaborar un espécimen, para ésta usando molde
de dimensiones normalizadas. Se fluidifica el cemento asfálti-
co y se vacía en el molde, se deja enfriar a la temperatura-
ambiente por un periodo de 30 a 40 minutos, se quitan los ex-
cesos de manera que el molde quede lleno al ras; posterior-
mente mediante un baño maría se calienta a la temperatura de
25°C durante un periodo de 85 a 95 minutos, despues del cual
se desmolda y se prueba inmediatamente, en la máquina especi-
al de ensaye a una velocidad de 5cm/min. hasta romper la bri-
queta o molde, cuando se desea hacer una prueba de ductili-
dad a baja temperatura, la prueba se efectúa a 40°C y a una
velocidad de 1cm/min.

El promedio de tres pruebas será la ductilidad que se repor-
te.

IV.1.2.3 Solubilidad del cemento asfáltico en tetracloruro - de carbono.

Este método sirve para la determinación del % del cemento as-
fáltico soluble en tetracloruro de carbono, en el se usan --
los aparatos siguientes:

- a) Grisol "Gooch" y ,
- b) Asbesto de grado para "gooch".

Procedimiento: pesense aproximadamente 2g de muestra en un -

matras y agréñse en pequeñas porciones 100 ml. de tetraclo-
ruro de carbono, agitando continuamente y que no quede adhe-
rida en el fondo del matraz, tapese el matraz y guárdese en
la obscuridad por lo menos durante 12 hrs.

Pesese la totalidad de la solución de tetracloruro de carbo-
no cuidadosamente a través de la capa de asbesto del prepara-
do hecho previamente.

Si la materia insoluble se adhiere al matraz, seque el ma-
traz y pésese. Sumese el peso de la materia insoluble al ma-
traz, al peso de la materia insoluble en el crisol "gooch".
Cálculo: el peso de la muestra tomada calculado sobre seca--
menos el peso total de la materia prima insoluble en tetra--
cloruro de carbono. El porcentaje se debe calcular sobre ba-
se seca del material.

Reporte: la proporción de cemento asfáltico soluble en tetra-
cloruro de carbono se expresa en % como sigue:

P= $\frac{\text{C.A. soluble en tetracloruro de carbono}}{\text{C. A. total}} \times 100$

C. A. total

P= Porcentaje de C.A. soluble en tetracloruro-
de carbono.

IV.2 Especificaciones

Las especificaciones mexicanas, en un principio, fueron una copia exacta de las estadounidenses de la "American Society of Testing Materials" (A.S.T.M.); suficientes para las necesidades que se tenían en un momento.

Por causas no justificadas, estas especificaciones siguen rigiendo en México y están publicadas en la Parte Novena , Libro Primero, de las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) pero se están modificando basadas en los años de experiencia y de recopilar datos. Sin embargo se ha visto que en muchas ocasiones, estos valores no pueden ser válidos en la construcción, pues hay que adaptar la emulsión al material pétreo en estudio.

En seguida incluyo las especificaciones para las principales clases de emulsiones aniónicas y catiónicas.

Emulsiones asfálticas aniónicas

C A R A C T E R I S T I C A S	G R A D O S				
	Rompimiento Rápido		ROMPIMIENTO Medio	Rompimiento Lento	
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
	PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO				
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C, segundos	20-100		100 Mfn	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C, segundos		75-400			
Residuo de la destilación, porcentaje en peso, mín.	57	62	62	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, Máximo.	3	3	3	3	3
Demulsibilidad.					
35 ml de 0.02N CaCl ₂ , por ciento, mínimo.....	60	50			
50 ml de 0.10N CaCl ₂ , por ciento, máximo.....			30		
Retenido en la malla Num. 20 por ciento, máximo....	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máx.				2.0	2.0
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos grados.....	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento mínimo.....	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25°C, cm., mínimo.....	40	40	40	40	40

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a diez grados centígrados (10°C), ni bajar más de treinta por ciento (30%) al subir su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a cuarenta grados centígrados (40°C).

Emulsiones asfálticas catiónicas

CARACTERÍSTICAS	G R A D O					
	Rompimiento Rápido		Rompimiento Medio		Rompimiento Lento	
	RR-2k	RR-3k	RR-2k	Rm-3k	RL-2k	RL-2k
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO						
Viscosidad Saybolt-Furol, 25°C, segundos.....					20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furol, 50°C, segundos.....	20-100	100-400	50-500	50-500		
Residuo de la destilación, porcentaje en peso, mínimo....	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en porcentaje, máx...	5	5	5	5	5	5
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo.....	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo). Prueba de resistencia al agua.			80	80		
Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mínimo.....						
Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento, mínimo....			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo..					2	2
Carga de la partícula	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva		
P.H., máximo					6.7	6.7
Disolvente en volumen, por ciento, máximo.....	3	3	20	12		
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION						
Penetración, 25°C, 100g. 5 segundos, grados.....	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, m <u>í</u> nimo.....	97	97	97	97	97	97
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo.....	40	40	40	40	40	40

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a diez grados centígrados (10°C), ni bajar más de treinta por ciento (30%) al subir su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a cuarenta grados centígrados (40°C).

Especificaciones que propone C.P.F.I.S.C.

CARACTERISTICAS	ROMPIMIENTO RAPIDO		ROMPIMIENTO MEDIO		ROMPIMIENTO LENTO		SUPER-ESTABLES		ANIONI-CAS.
	RR-K2	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K	SS-K3	SS-K4	SS-A
Viscosidad Saybolt - Furol 25°C en segundos									
Viscosidad Saybolt- Furol 50°C en segundos	30-80	60-150	60-150	15-80	60-150	15-80	15-30	15-30	10-30
Residuo por destilación en porciento mínimo	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	60.0	60.0	58.0
Asentamiento en 5 días diferencia en porciento máximo- (Sedimentación).....	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Retenido en la malla No. 20 en porciento máximo.....	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Miscibilidad con cemento hidráulico tipo Portland en -- porciento máximo.....	---	---	---	---	---	---	---	---	2.0
Miscibilidad con fines ácidos normalizados..... (Método francés factor C (tentativo))	c < 80	c < 80	80 < c < 120	80 < c < 120	c > 120	c > 120	c > 120	c > 120	c > 120
Carga de la partícula.....	Positiva	Positiva	Posi- tiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Negativa
P.H. máximo	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	13.0
Disolvente en volumen % máximo	4.0	4.0	6.0	6.0	-	6.0	-	-	
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION									
Penetración 25°C; 100grms; 5 segundos, grados.....	70-100	70-120	70-120	70-120	70-120	70-100	60-100	60-100	60-100
Solubilidad en tetracloruro de carbono en porciento --- mínimo.....	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0
Ductilidad 25°C en centímetros mínimo.....	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0

Estas nuevas especificaciones que se proponen se parecen a las vigentes, pero las modificaciones marcan la diferencia entre la experiencia de la ingeniería mexicana y la estadounidense. Esas diferencias son muy significativas, ya que por las propias necesidades y recursos locales, se desarrollan técnicas propias apoyadas en las condiciones de clima, materiales pétreos y asfaltos. Es muy importante que cada país establezca sus propias reglas.

C A P I T U L O V

SELECCION Y USO DE EMULSIONES ASFALTICAS

V.1 Selección de Emulsiones Asfálticas.

Los productos asfálticos utilizados en la pavimentación y -- mantenimiento de caminos son basicamente tres:

- a) Cemento asfáltico
- b) Rebajados asfálticos
- c) Emulsiones asfálticas

La selección de uno u otro de estos productos implicará en-- tre otros elementos la selección de una técnica de aplicaci-- ón.

Por lo anterior al seleccionar una u otra técnica sera necesa-- rio tener siempre presente los siguientes factores:

- 1.- Características de la técnica elegida
- 2.- Costo de estas técnicas
- 3.- Necesidades reales de la vía
- 4.- Oportunidades de la actuación.

Considerando que los recursos económicos generalmente son es-- casos, será necesario analizar con mayor énfasis el costo de la técnica, ya que, en la mayor parte de los casos serán de-- terminantes a la hora de elegir un tipo de técnica u otra, - para la solución del problema vial.

A continuación enumeraré las ventajas económicas que aportan la utilización de emulsiones asfálticas como técnica de apli-- cación en construcción de pavimentos y mantenimiento de los-- mismos.

1.- Aportan mayor número de soluciones.

Una de las propiedades de las técnicas de pavimentación con-- emulsiones asfálticas es la infinidad de procedimientos y -

sistemas que ofrecen, lo que permite una inversión racional y progresiva al poder aplicar en cada caso, una técnica casi a la medida del problema a seleccionar. Esta propiedad no tienen las técnicas tradicionales en caliente o las que utilizan los rebajados asfálticos como ligantes.

2.- Maquinaria sencilla, movil y adaptable.

Otra propiedad importante desde el punto de vista económico de las emulsiones asfálticas es la utilización en la fabricación y aplicación de las diferentes técnicas de equipos de maquinaria sencilla y móviles. Ambas propiedades son posibles debido a la no necesidad de calentar los materiales pétreos ni las emulsiones, que evitan instalaciones complicadas; no olvidemos que el material pétreo supone entre el 70 al 95% del volumen de un tratamiento asfáltico.

La movilidad de los equipos permite el acceso a zonas geográficas remotas y realizar tratamientos tanto de gran volumen como de poco al no ser importante los costos de instalación y transporte de los mismos. Disminuye el costo de transporte de las unidades asfálticas ya que se fabrica y se aplica sobre el mismo terreno.

Es importante saber que las técnicas con emulsiones asfálticas también pueden ser aplicadas con la maquinaria tradicional utilizada para las técnicas en caliente, sólo la fabricación de emulsión asfáltica y de lechada asfáltica exige una inversión en maquinaria.

3.- Se adaptan al clima, a los materiales pétreos y al tipo de carretera.

Si recordamos que las emulsiones asfálticas además de estar formadas por agua y cemento asfáltico tienen la presencia del agente emulsificante que influye en el comportamiento entre cemento asfáltico y material pétreo cuando a través de la emulsión entran en contacto con el mismo. Esta hace que

pueda ser utilizada en una mayor gama de materiales, permitiendo usar con mayor amplitud los materiales pétreos existentes, abaratando de forma importante el coste de transporte de estos materiales.

Ademas por la misma razón, la presencia de emulgentes en la composición química de las emulsiones permite adaptarlas a la climatología, acelerando o terardando la ruptura de las mismas, permitiendo trabajar en condiciones climaticas mas extremas que con las técnicas tradicionales lo que significa mayor número de dias al año de empleo.

La apertura al tráfico de un tratamiento asfáltico con emulsiones puede ser controlado en el tiempo, llegando a realizarse inmediatamente.

4.- Supone un importante ahorro energético.

Con respecto a las tecnicas en caliente con cemento asfáltico; se ahorra la energía para calentar el material pétreo, suelos o ligantes, pues con las emulsiones asfálticas se les emplea a la temperatura ambiente.

Frente a las técnicas con rebajados asfálticos, el 20 a 30 % de disolvente o nafta que contiene, se sustituye por agua -- más un producto químico en una proporción inferior al 1.5%.

5.- Algunas de sus mezclas asfálticas son almacenables.

Ciertas mezclas con emulsiones pueden ser almacenadas durante meses antes de aplicarles sobre la carretera para labores de bacheo y mantenimiento.

En la siguiente tabla se presenta el uso de los tres productos asfálticos y se comparan economicamente.

USO DE PRODUCTOS ASFALTICOS.

Tratamientos superficiales	Emulsiones	Rebajados	C. Asfáltico
Riego antipolvo	A	--	--
Riego de imprimación	A	C	--
Riego de sello	A	C	--
Riego de una capa	A	C	C
Slurry Seal	A	--	--
Eacheos	A	--	--
Tratamientos con aporte - estructural.			
Estabilización en sitio	A	--	--
Estabilización de arenas	A	C	C
Gravas-emulsión	A	C	C
Mezclas abiertas almacenables	A	C	--
Mezclas densas	B	--	A

A normalmente son mas baratas

B en ciertos casos económicamente son equiparables

C son económicamente mas caras.

En la anterior tabla sólo las mezclas densas son susceptibles de poder ser realizadas con cemento asfáltico puro o través de emulsiones asfálticas en condiciones técnicas y económicas comparables.

El resto de tratamientos bien desde un punto de vista técnico o bien desde un punto de vista económico, solo debieran ser realizadas razonablemente con emulsiones asfálticas.

Pero a pesar de haber realizado varios estudios técnicos y económicos que demuestran la efectividad de las emulsiones asfálticas, éstas no logran ser aceptadas y se sigue eligiendo a los rebajados asfálticos.

Esta actitud que se tiene aún para no aceptar el uso de emulsiones asfálticas, tanto en México como en otros países de Latinoamérica son las siguientes:

- 1.- Falta de apoyo gubernamental.
- 2.- Empleo de rebajados asfálticos subsidiados.
- 3.- Las empresas del país siguen empleando métodos constructivos obsoletos tales como el empleo de motoconformadoras para mezclar.
- 4.- Falta de especificaciones, pruebas de diseño e interés para desarrollar técnicas propias.
- 5.- No hay un buen conocimiento entre los ingenieros de caminos de lo que son las emulsiones y su empleo.
- 6.- Los intereses de las grandes empresas por las mezclas en caliente y seguir alquilando sus equipos de mezclado que tienen como son las motoconformadoras.

A pesar de la actitud negativa hacia el empleo de las emulsiones asfálticas, su producción sigue en aumento.

Por otra parte se están organizando fabricantes de emulsiones asfálticas, emulsificantes y aplicadores, para que conjuntamente solucionen los problemas y realicen intercambio de conocimientos, entre otras funciones.

A continuación incluyo una tabla donde se aportan sugerencias para el empleo de productos asfálticos en la pavimentación de caminos.

V.2 Usos de las Emulsiones Asfálticas.

Antes de iniciar este tema cabe mencionar que las emulsiones en México se adaptan al material y no como sucede en algunas ocasiones, que se buscan materiales adecuados a las emulsiones de línea que existen en el mercado tal como ocurre en Estados Unidos.

CLAVE: FR.- Asfalto rebajado de fraguado rápido.

FM.- Asfalto rebajado de fraguado medio.

FL.- Asfalto rebajado de fraguado lento.

CA.- Cemento asfáltico.

RR.- Emulsión aniónica de rompimiento rápido.

RM.- Emulsión aniónica de rompimiento medio.

RL.- Emulsión aniónica de rompimiento lento.

RR-K.- Emulsión catiónica de rompimiento rápido.

RM-K.- Emulsión catiónica de rompimiento medio.

RL-K.- Emulsión catiónica de rompimiento lento.

CONCEPTO	CONDICIONES CLIMATICAS EN EL LUGAR, DURANTE LA EJECUCION DE LA OBRA					
	FRIO		TEMPERADO		CALIENTE	
	SECO	HUMEDO	SECO	HUMEDO	SECO	HUMEDO
<u>RIEGO DE IMPREGNACION.-</u> En bases de textura cerrada (Zona granulométrica 3) En bases de textura media (Zona granulométrica 2) En bases de textura abierta (Zona granulométrica 1)	FR - 0 FM-0 ó FM-1 FM-1 ó FR-2		FM-0 ó FM-1 FM-1 FM-1 ó FM-2		FM-1 ó FM-2 FM-1 ó FM-2 FM-2 ó FM-3	
<u>CARPETAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS.-</u> Con materiales 0,1,2 y 3	FR-2, FR-3 RR, RR-K	RR -K	FR-3,RR,RR-K	RR-K	FR-3, FR-4, RR-K ó RR	RR-K ó RR
<u>RIEGOS DE LIGA.-</u> Sobre carpeta antigua o sobre base impregnada.	FR-1, FR-2 FR-3, RR, RR-K	RR, RR-K	RR, RR-K	RR, RR-K	FR-4, RR,RR-K	RR, RR-K
<u>CARPETAS DE MEZCLA ASPALTICA EN EL LUGAR.-</u> En carpetas de textura cerrada (Zona granulométrica 3) En carpetas de textura media (Zona granulométrica 2) En carpetas de textura abierta (Zona granulométrica 1)	FR-1, FR-2 FM-2 FR-2 ó FM-2 FR-2 ó FM-2		FR-2 ó FR-2 FM-2, FM-3, FR-2, FR-3, FM-3 ó FR-3		FR-3 ó FM-3 FM-3 ó FR-3 FM-3 ó FR-3	
<u>CARPETAS DE MEZCLA ASPALTICA HECHA EN PLANTA, EN FRIO.-</u> En carpetas de textura cerrada (Zona granulométrica 3) En carpetas de textura media (Zona granulométrica 2) En carpetas de textura abierta (Zona granulométrica 1)	RM,RL,RL-K RM,RL,RL-K RM,RL ó RM-K,RL-K	RM, RM, RM, RL, RL-K RM-K	RM, RL, RL-K RM, RL, RL-K RM, RL ó RM-K ó RM-K	RM, RL-K RM, RL-K RM, RL, RL-K ó RM-K	RM, RL, RL-K RM, RL, RL-K RM, RL ó RM-K RL-K	RL-K RM, RL-K RM, RL-K RM-K,RL-K,RL
<u>CARPETAS DE CONCRETO ASPALTICO HECHO EN PLANTA, EN CALIENTE.-</u> RIEGO DE SELLO.- Con materiales 3A, 3B ó 3-E.	CA-3 ó CA-6 FR-2, FR-3 RR, RR-K		CA-3 ó CA-6	RR-K	FR-3, FR-4, RR-K ó RR	RR-K, RR

NOTAS : Para la elaboración de este cuadro no se ha considerado el problema de la adherencia entre el material pétreo y el asfalto, por cual, para la elección adecuada, deberá tomarse en cuenta este aspecto.

-Cuando se usen asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas en clima frío, deberá trabajarse cuando la temperatura sea mayor a los 13°C.

Para lograr el uso eficiente de las emulsiones es necesario realizar estudios sobre materiales a usar, para así determinar el diseño que va a proporcionar los mejores resultados en el trabajo en el que se pretende utilizar.

Actualmente el empleo de las emulsiones en México es de un 60% para mezclas y un 40% en tratamientos superficiales.

V.2.1 Riego de impregnación.

A este termino también se le conoce como riego de penetración. Su objetivo es el de proteger la base hidráulica de la lluvia y del tránsito normal, de vehículos ligeros durante la construcción. Además sirve como zona de transición entre la base hidráulica y capa asfáltica siguiente. De esta manera el riego de liga tiene una superficie afín para asegurar el anclaje de la capa siguiente.

Este tratamiento se ha hecho hasta la fecha con ligantes asfálticos del tipo de fraguado medio que contienen solventes poco volátiles, en porcentajes del 40 al 45 por ciento con respecto al volumen total lo que les da la posibilidad de tener una viscosidad, por lo que el producto penetra en la superficie ayudado por su baja viscosidad.

También se hace con emulsiones diluidas que contienen solventes, no se han obtenido los resultados deseados, por lo que forzosamente se tienen que utilizar emulsiones de rebajados asfálticos de fraguado medio.

V.2.2 Riego de Liga.

Es un tratamiento superficial para unir capas; sea una base hidráulica con una capa asfáltica con otra del mismo tipo. Las cantidades de emulsión que se emplean son las mínimas -- necesarias siempre de acuerdo con la superficie por tratar; mientras más porosa, mayor será la cantidad que debe emplearse.

El ligante que se emplea es una emulsión de rompimiento rápido catiónica RR-C con una proporción de 3 a 5 por ciento de solventes del mismo tipo empleado en los rebajados de fraguado rápido. Esto dará al riego de liga aún mayor tiempo de propiedades plásticas y adherentes, a pesar de que la emulsión se haya roto.

En algunas ocasiones y muy especialmente cuando se trata de superficies calizas, este riego puede hacerse con una emulsión de rompimiento rápido aniónica (RR-A), puede sustituirse por una catiónica, diseñándola para que contenga ácido nafténico para mejorar su adherencia activa con los materiales alcalinos. Para este caso el aplicador debe pedir al productor el diseño de la emulsión más adecuada, ya que no se trata de una emulsión comercial. Generalmente, se tiene la idea que la modificación a la emulsión no es necesaria, pero por experiencias se ha visto que esta práctica es adecuada y asegura los resultados.

La cantidad de ligante que se recomienda varía de 0.8 a 1.0 l/m² siempre en relación con el tipo de superficie sobre la cual se va a aplicar.

Las superficies porosas, de granulometría abierta etc. pueden tener una mayor absorción que las muy cerradas y ricas en asfalto. No hay un verdadero diseño para realizar este tipo de tratamientos, sino recomendaciones basadas en la experiencia.

V.2.3 Mortero Asfáltico - "Slurry Seal".

Este tipo de tratamiento superficial, es empleado como una capa de desgaste o de sello. No se le puede considerar como parte estructural del pavimento.

El mortero asfáltico está compuesto por gravilla, arena, finos de cemento hidráulico o cal apagada, agua y emulsión que mezclados, forman una masa tixotrópica (La tixotropía es una

propiedad de ciertos geles coloidales de licuar cuando se agitan y recuperar en reposo, la forma de jalea) con magníficas propiedades físicas.

Los métodos de diseño son muy variados y las pruebas hechas en cada uno son puramente empíricas; hasta el momento, cada laboratorio tiene su propia interpretación.

En los métodos de diseño, como en todos los proyectos de mezclas asfálticas en general, lo primero que se tiene que realizar es identificar el material pétreo, con el objeto de conocer todas sus características físicas mediante las siguientes pruebas:

- a) Identificación petrográfica
- b) Granulometría
- c) Peso volumétrico
- d) Equivalente de arena

La granulometría y su equivalente de arena son valores que influyen en el diseño. Si el mismo material tiene una variación ligera en su equivalente de arena, su comportamiento es diferente. Cuando se van a emplear emulsiones catiónicas, el equivalente de arena puede hacer variar la clase de emulsión que deberá emplearse.

Cada país según su experiencia y resultados obtenidos, ha establecido su granulometría tipo; en cada caso, sólo serán buenos para el aplicador; por lo que una granulometría que es aceptada por "x" es rechazada por "y". Así que no hay un criterio uniforme al escoger la granulometría.

El cemento hidráulico o la cal apagada se debe escoger entre aquellas marcas que se conozcan de origen y que esté garantizada su calidad; sobre todo, el cemento debe ser de fraguado normal, ya que los fraguados rápidos no son compatibles con los morteros.

Estos finos tienen dos funciones principales: el rompimiento

o fraguado del mortero se puede acelerar o retardar, según - el tipo de emulsión que se emplee. En el caso de las emulsio- nes asfálticas aniónicas, el fraguado se acelera ligeramente ganando tiempo para poner en servicio el tratamiento aplica- do; este mismo cemento, si se agrega en las mezclas con emul- sión asfáltica catiónica, ésta sufrirá un retraso en su rom- pimiento, lo que provoca como consecuencia que el fraguado - del mortero sea mas lento.

Otra función que tienen estos finos es de formar un gel, que mantiene a la emulsión en un estado de suspensión perfecta- mente bien repartida en el mortero.

Cuando se carece de una pequeña cantidad de cal o cemento, - la emulsión tiende a bajar y escurrirse. En este caso una -- parte de la superficie queda sin la cohesión ni la consisten- cia de un mortero.

Un exceso de estos finos puede tener resultados negativos en la resistencia de la superficie ante la abrasión. Esta es in- dependiente del ligante asfáltico, pero la influencia del -- cemento o la cal si puede actuar de forma inversa. La canti- dad crítica en un mortero es cercana al 2.5% en finos.

En cuanto al tipo de emulsiones asfálticas para el mortero, - debiera ir de acuerdo con las exigencias del mismo trabajo. _ Como sabemos se dispone de dos grandes grupos de emulsiones como lo son las emulsiones aniónicas y catiónicas dentro de este grupo el subgrupo de las emulsiones asfálticas superes- tables (SS) es el indicado para trabajar en mortero asfálti- co, éstas tienen la suficiente estabilidad y puede ser mana- jada por cualquier máquina especializada.

Las emulsiones SS-A y SS-C se subdividen en las siguientes - clases:

Aniónicas
SS-A

Homopimiento medio

ESTA TESIS NO DEBE
REPRODUCIRSE SIN
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Catiónicas
SS-C

Rompimiento rápido
Rompimiento medio
Rompimiento lento.

Las emulsiones asfálticas supertables (SS) son fabricadas -- conforme los requerimientos del mortero asfáltico, tienen un margen mas amplio en su aplicación gracias a su estabilidad, por lo que los hace ser lo más indicado para trabajar en morteros asfálticos.

V.2.4 Carpetas por el sistema de riegos.

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible y proporciona una superficie de rodamiento par los --- vehículos; uno de los métodos de construcción de la carpeta es por riego.

La carpeta por riego consiste en una serie de capas sucesivas de producto asfáltico y pétreos sobre la base impregnada. El tratamiento de un solo riego consiste en la aplicación de un riego de ligante asfáltico y una capa de material pétreo. Si este tratamiento es repetido recibe el nombre de dos o --- tres riegos.

Este tipo de carpeta esta clasificado dentro del tipo económico y esta capacitado para recibir tráfico ligero o mediano. La vida útil que se espera es de 2 a 5 años, dependiendo del tipo de base que se haya dado, así como el tipo de conservación que se lleve a cabo.

El material usado tiene determinada granulometría a parte de ser un material que cumpla con las características de dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto.

Es muy importante una adecuada graduación del agregado en -- este tipo de trabajo. Si la variación entre tamaños de agregado es muy pronunciada, se puede presentar el caso que las

partículas más pequeñas queden sumergidas en el material asfáltico y las partículas más grandes queden mal adheridas. Por esta razón, los agregados usados deberán ser uniformemente graduados.

Para una buena elección del material asfáltico en carpetas-- de este tipo, se deberán llenar las siguientes condiciones:

1) El material asfáltico debe ser tal, que esté garantizada una buena adhesión con la base y los agregados 2) El material asfáltico debe sujetar firmemente al agregado.

Para tener una buena adhesión inicial, el material asfáltico debe presentar un estado plástico suave, ya que la baja viscosidad permite un buen mojado del agregado y para un buen retenido final es más deseable un material asfáltico relativamente duro, con buena adhesividad. Por lo anterior, se requiere que el material asfáltico esté en un estado fluido al principiar la operación de colocación del agregado y después de cierto tiempo deberá endurecerse para que pueda sujetarse al agregado firmemente.

Considerando el punto de vista de la construcción, se tiene preferencia por las emulsiones asfálticas. Esto se debe a -- que el estado de exposición de los materiales asfálticos en este tipo de trabajo, hace que la emulsión asfáltica cumpla con lo establecido anteriormente. Este requerimiento fundamental es presentado por las emulsiones asfálticas catiónicas de rompimiento rápido.

La temperatura ambiente durante la aplicación es un factor -- que se debe tomar en cuenta para escoger de una manera apropiada el tipo de emulsión. De igual modo, las pendientes en el camino imponen el empleo de emulsiones más viscosas. Por otro lado, también llega a determinar el tipo y tiempo de -- rompimiento que se requiere.

Un clima frío requerirá inicialmente materiales suaves lo --

que hara escoger las emulsiones con solventes. Cuando los agregados presentan una cierta humedad, las emulsiones catiónicas son las más apropiadas en la construcción.

La cantidad de material asfáltico requerido para tener una adherencia apropiada, es aquella que satisface los requerimientos de absorción de los agregados, más la cantidad necesaria para lograr la adherencia.

V.2.5 Mezclas asfálticas en frío realizadas con material pétreo emulsión.

Las mezclas asfálticas realizadas con material pétreo emulsión, se emplean en carpetas asfálticas y estabilización de suelos para subbase y base.

Se entienda por estabilización de suelos a la mezcla de dos o mas materiales para que ésta presente las características deseadas. La característica deseada que se busca al estabilizar un suelo mediante una mezcla asfáltica, será la de mejorar la resistencia de éste.

Diseño de una mezcla asfáltica realizada con material pétreo emulsión .-el primer paso a realizar, para cualquier caso de que se trate, es conocer todas las características del material pétreo:

- Identificación petrográfica
- Peso volumétrico suelto
- Granulometría
- Porcentaje de desgaste

Ya determinadas las características del material pétreo por usar, se procedera a determinar el tipo de emulsión más adecuada, para cada caso. Se tomará en cuenta la clasificación petrográfica, para determinar si la emulsión será aniónica o catiónica. Esto no debe decirse como un dato definitivo, ya que el tipo catiónico o aniónico será escogido también de a-

cuerto con la temporada climatológica.

A parte de las emulsiones asfálticas de línea cuenta con una gama mucho mas amplia que la comercial.

Dentro de las emulsiones de fraguado medio, se tienen contenidos de emulsificantes desde 0.4% a 1.0 % por tonelada de emulsión. El P.H. se puede variar de 4.5 a 1.8. Todas las variantes pueden aplicarse para diseñar la emulsión mas adecuada. Lo mismo sucede en el caso de las emulsiones de fraguado lento.

Las emulsiones de rompimiento medio y lento, proporcionan suficiente tiempo para lograr el total de cubrimiento y la correcta colocación, aún bajo condiciones atmosféricas difíciles.

También dentro de cada emulsión existe la posibilidad de que contengan o no solventes, de acuerdo con el tipo de mezclado que se vaya a seguir en la obra, y el tipo de tendido que se va a realizar. La temperatura ambiente también influirá en la selección.

Debido a las ventajas que han demostrado tener las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas se prefieren usar tan solo emulsiones catiónicas, por lo que, mencionaré algunos factores importantes.

El factor sencillo mas importante que repercute en el comportamiento de la emulsión catiónica, es la relación entre la intensidad catiónica, es la relación entre la intensidad catiónica del emulsificante y la intensidad de la carga negativa del agregado.

Un agregado altamente negativo requiere el uso de un emulsificante poco catiónico, y un agregado de negatividad débil requiere un emulsificante de mas fuerte catiónicidad para obtener la mezcla adecuada con rompimiento rápido.

El área superficial de los agregados es de igual importancia ya que determina el área negativa que atraerá el emulsificante catiónico. A mayor área superficial por unidad de volumen se requiere emulsión de fraguado mas lento.

El P.H. de la emulsión es un factor controlable que con frecuencia influyen en el comportamiento de la emulsión sin cambiar el caracter iónico de ésta.

Una emulsión catiónica, es catiónica en ambos medios, ácido y alcalino. Aún cuando generalmente se fabricuen con P.H. menor de 7, tambien pueden prepararse con P.H. mayor de 7.

Otro factor importante es la temperatura tanto de emulsión - como de agregado pues a mayor temperatura, se acelera la velocidad de rompimiento, y a bajas temperaturas, la velocidad se reduce.

Una vez seleccionada la emulsión mas adecuada se procedera a calcular el porcentaje óptimo teórico del residuo asfáltico. Los métodos más conocidos en México son: el del Laboratorio de Puentes y Calzadas (Francés); Instituto del Asfalto (- Estados Unidos) y el propuesto por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

El método de laboratorio de Puentes y Calzadas propone determinar la superficie específica (S.E.) la que se calcula con la fórmula siguiente:

$$S.E. = \frac{1}{100} (0.237G + 1.60g. + 12.85A + 117.8F)$$

G = % entre la malla 3/4 Pulg. a No. 4

g = % entre la malla No. 4 a No. 40

A = % entre la malla No. 40 a No. 200

F = % pasa No. 200

Con el valor de S.E. en una grafica de Superficie Especifica contra Porciento de Cemento asfáltico se obtiene el porcentaje óptimo teórico del residuo asfáltico.

El método que proporciona el Instituto del Asfalto proporciona directamente el porcentaje de cemento asfáltico, con respecto a la mezcla total.

$$P = 0.032a + 0.045b + kc + K$$

P = % de cemento asfáltico con respecto al peso total de la mezcla.

a = % retenido malla No. 10

b = % pasa malla No. 10 y retiene No. 200

c = % pasa malla No. 200

k = : 0.20 (11 a 15 % pasa No. 200)

0.18 (6 a 10 % pasa No. 200)

0.15 (menos del 5% pasa No. 200)

K = : puede variar de 0.0 a 2.0 según el tipo de materiales pétreos y su absorción.

El Método de S.C.T. es el empleado en el medio caminero mexicano y el residuo de cemento asfáltico que se obtiene es el mínimo, para cubrir el material. No se trata, en este caso, del óptimo teórico.

$$P = (0.41 nG + 2.05 nG + 15.38 nA + 53.30 nF) \frac{1}{100}$$

P = % de cemento asfáltico mínimo para cubrir el agregado con respecto al peso de agregado.

n = Índice asfáltico dependiendo del tipo de material.

G = % entre 1/4 a No. 4

g = % entre No. 4 a No. 40

A = % entre No. 40 a No. 200

F = % pasa No. 200

La determinación del Porcentaje de Agua de Mezclado, se obtiene por tanteos; se comienza con un porcentaje Ho igual al óptimo teórico de emulsión, y se van haciendo tanteos en más y menos, en incrementos de 1%, de acuerdo con los resultados que se vayan obteniendo.

$$(Ho + 1\%) ; (Ho + 2\%) \dots\dots(Ho + n\%)$$

Ho

$$(Ho - 1\%) ; (Ho - 2\%) \dots\dots(Ho - n\%)$$

Una vez calculado el porcentaje óptimo teórico del residuo - asfáltico e inmediatamente después, el porcentaje de agua óptima práctica de mezclado, se procede a realizar la mezcla, de acuerdo con el método que se haya seleccionado para el material que se vaya a emplear.

Entre los métodos más usados están :

- Marshall
- Hubbard Field modificado
- Valor de Soporte Florida
- Compresión Simple
- Valor Relativo de Soporte (C.B.R.)
- Método Hveen (California)

V.2.6 Uso de Emulsiones en la Conservación de Caminos

Debido al alto costo de los materiales para construcción y mantenimiento, aunado al hecho de que los presupuestos para tales efectos han disminuido se hace económicamente necesaria la reutilización de los pavimentos existentes. Y para hacerse útiles, se requiere un programa de rehabilitación para restaurar las condiciones iniciales.

Re-Uso (Recycling).- es un método que ayuda a resolver algunos de estos problemas es el re-uso o regeneración de pavimentos existentes (Recycling) para construcción, rehabilitación y mantenimiento. Esto se hace mas palpable cuando mas escasos son los materiales en las zonas urbanas. Sin embargo los materiales a regenerar deberán ser seleccionados y/o regraduados con materiales de bancos próximos a la zona.

Los tipos de regeneración conocidos hasta ahora son los siguientes:

Regeneración Superficial. Reparación de la superficie de un

pavimento a una profundidad no mayor de 2.54 cm. mediante sistemas en caliente o en frío.

Regeneración de Bases y Superficies en el lugar.- Pulverización en el lugar a profundidad mayor de 2.54 cm seguida de compactación y nivelación.

Regeneración en Planta Central.- Escarificación del pavimento, carga del camino antes o despues de pulverizado, procesamiento del material en planta o sin adición de aditivos de tendido y compactación.

La regeneración es una de las alternativas en rehabilitación o mantenimiento de caminos, la selección del método apropiado depende de las probables causas de falla y se determina mediante estudios de laboratorio y campo.

El uso de las emulsiones asfálticas en regeneración se prefiere por su maniabilidad, por ejemplo, si se desea reducir la viscosidad solo se tiene que agregar agua. El agua contenida en la emulsión contribuye a dar las siguientes ventajas;

- 1) Baja la temperatura de almacenamiento y aplicación
- 2) Versatilidad de construcción,
- 3) Reduce requerimientos de Energía
- 4) Reduce la contaminación en el aire,
- 5) alta eficiencia de producción y
- 6) Alta adhesión.

La versatilidad de las emulsiones asfálticas permite riego con espesas, uso en planta estacionaria o móvil o mezcla en el lugar. Esto hace a la emulsión útil para cada tipo de regeneración, pero su preferencia sobre los rebajados es que elimina la necesidad de solventes y abate al mínimo el calentamiento al aplicarse. La contaminación por lo tanto es mínima.

V.2.6.1 Calentamiento- Escarificación.

Otro de los métodos de rehabilitación es el calentamiento es carificación que renueva un espesor de 2.5 cm. en la capa superior del camino.

Un paso vital en el proceso de calentamiento-escarificación es de rejuvenecer al menos 2.5cm. en la capa superior del pavimento existente, esto es posible realizarlo con una emulsión maltena catiónica como Reclamite, que restaura la plasticidad y ductilidad del espesor del pavimento en el que penetra, mediante un proceso químico en el que devuelve al asfalto las fracciones perdidas por oxidación. El uso de emulsiones rebajados o cualquier otro producto a base de asfalto, no rejuvenece al pavimento existente.

Reclamaite sirve en forma útil durante toda la vida del pavimento asfáltico, desde el momento en que se coloca el asfalto y es sellado con Reclamite hasta que se requiere una reconstrucción y se usa para rejuvenecerlo. Durante estos dos procesos se utiliza como sellador de grietas o en el proceso Calentamiento- Escarificación.

El agente Reclamite o rejuvenecedor de asfaltos, que es una emulsión de productos petroquímicos en agua, se surte en frío y se diluye en obra con cualquier tipo de agua fría (aún agua de mar) en solución básica de 2 partes de concentrado en una parte de agua. Puede aplicarse con cualquier tipo de pipa con barra esparciadora ó con atomizador manual ó bacheador sin requerir equipo de calentamiento.

Existen dos procedimientos para el calentamiento- Escarificación : El método del "Convoy" y el método de "Pavimentación Retrazada". El primero se usa cuando la sobrecapa es de material bien graduado. Si la carpeta es de textura abiertas Slurry Seal (Mortero asfáltico) o suelo convencional, se usará el 2ºdo. método

Método del Convoy

- 1.- Calentar y Escarificar la capa de 1/2" a 3/4" superior.
- 2.- Riego de 0.45 a 0.91 Lt/m² de Reclamite concentrado inmediatamente despues de la escarificación para rejuvenecer el material viejo.
- 3.- Riego de una nueva capa de asfalto en forma convencional e inmediatamente despues del Reclamite.

(Por esta razón se debe contar con espacio suficiente para operar el equipo (planta Heater-Remix, dos petroli-zadoras y equipo de compactación).

- 4.- Compactación con plancha y neumáticos autopropulsados.
- 5.- (Opcional) nuevo riego de Reclamite en solución de 2 partes de concentrado por 1 parte y aproximadamente 0.27 a 0.36 Lt/m² para prolongar la vida de la carpeta.

Método de Pavimentación Retrasado.

- 1.- Calentamiento y Escarificación;
- 2.- Compactación con plancha y neumático;
- 3.- Riego de Reclamite sobre la superficie compactada al final del día de trabajo, se aplican de 0.68 a 1.12 Lt/m², y se recomienda sea diluido en solución 2:1.
- 4.- Una vez terminada la totalidad de escarificación y varios días despues, o aun semanas despues de aplicado Reclamite se procede a llenar con Slurry Seal o bien sello convencional o sobre capa de textura abierta.

Las ventajas de este sistema sobre la liga y sobrecarpeta -- son las siguientes:

- Asegura una liga positiva entre la antigua y nuevo pavimento.
- El uso de Reclamite rejuvenece la capa superior del pavimento, desarrollando una capa de almenos 2.5 cm con flexibi-

lidad adicional.

- Se eliminan las grietas de la superficie existente retrasando su reflejo en la nueva, por lo que se reduce la posibilidad de que resurjan.

Existe una limitación en el espesor de la sobrecarpeta. Probablemente el óptimo resultado es en carpetas de 10 cm o menos. En espesores de 10 a 21 cm se requiere de un estudio previo y en mayores a 21 cm se obtendrán pequeños o nulos resultados .

Para finalizar es importante considerar que al elegir el método a usar para la conservación de caminos dependiera de las probables causas de falla, y se determinarán mediante estudios de laboratorio y campo.

C A P I T U L O VI

C O N C L U C I O N E S

Las principales conclusiones que obtienen de este trabajo -- son las siguientes:

-Las emulsiones asfálticas son un producto asfáltico empleado en la construcción y mantenimiento de las carpetas asfálticas; también se están empleando con gran éxito en la estabilidad de suelos.

-Es el producto asfáltico que tiene la cualidad de poderse aplicar y mezclar con pétreos húmedos, por lo que se puede prolongar la temporada de pavimentación, en tiempo de lluvias disminuyendo retrasos debidos al mal tiempo.

-Las emulsiones asfálticas son una mezcla íntima de gotitas o partículas de cemento asfáltico suspendidas en una fase -- continua de agua. Para su fabricación se usa un molino coloidal de esfuerzo cortante. Este dispositivo separa o rompe el cemento asfáltico en pequeñas partículas (5 a 6 micras), bajo la presencia de agua y un emulsificante que ayuda a mantener el cemento asfáltico en suspensión estable, dadas las -- propiedades eléctricas de superficie y a su vez determina -- las características de la emulsión terminada.

-Por su constitución electroquímica existen dos tipos de emulsiones asfálticas las aniónicas y las catiónicas.

-Las emulsiones catiónicas o de carga positiva tienen la cualidad de tener una "adhesividad polivalente" que la hace la más apropiada para su aplicación en materiales mixtos, (que -- son los más usados en la construcción de las carreteras). -- Los materiales mixtos están constituidos de una parte alcalina de naturaleza positiva y una parte ácida de naturaleza ne

gativa; por consiguiente también será la más adecuada para -- los materiales ácidos o negativos.

De acuerdo con la fórmula de la emulsión el tiempo de rompi-- miento fluctúa de rápido a lento de acuerdo con las necesida-- des de la obra.

-Las emulsiones aniónicas o de carga negativa se emplean en -- materiales alcalinos que son de naturaleza positiva como es -- el caso de las calizas. Uno de los inconvenientes de este ti-- po de emulsiones es que se necesita un mayor tiempo de rompi-- miento, por lo que ya casi no aparecen en el mercado, sólo se producen en casos especiales en el que el material por usar -- sea alcalino en su mayor porcentaje y se tengan condiciones -- climáticas óptimas.

-Cada material es un caso de diseño y es necesario ver que ti-- po de emulsión es la más adecuada, por lo que es conveniente que no sólo se disponga de las emulsiones producidas en el -- mercado sino que es deseable que fabriquen emulsiones para ma-- teriales especiales variando las proporciones de emulsifican-- tes para producir la requerida en esos casos. Por lo que se -- requiere un mayor número de plantas de emulsiones de pequeña producción enfocadas a la fabricación de emulsiones de tipo especial.

-Es necesario tener especificaciones propias, que surjan de -- las experiencias de nuestros técnicos mexicanos. Estas especi-- ficaciones se basarán en nuestras necesidades y recursos re-- cursos locales; desarrollando técnicas propias apoyadas en -- las condiciones de clima, materiales pétreos y cemento asfál-- tico. Es muy importante que cada país establezca sus propias especificaciones, sin adoptar experiencias extrañas sin ningun-- na base.

- El uso de emulsiones asfálticas aporta un mayor número de -
soluciones; se utilizan con maquinaria sencilla y móvil; se -
adaptan al clima, a los materiales pétreos existentes y al ti-
po de carreteras; supone un importante ahorro energético; sus
mezclas asfálticas pueden ser almacenables.

-Los principales problemas que se han tenido y se siguen te-
niendo para aceptar en nuestro país son los siguientes:

- 1.- Falta de apoyo Gubernamental.
- 2.- Empleo de rebajados subsidiados.
- 3.- Las empresas de nuestro país siguen empleando métodos
constructivos obsoletos.
- 4.- Falta de especificaciones, pruebas de diseño e interés
para desarrollar técnicas propias.
- 5.- No hay buenos conocimientos entre los ingenieros de -
caminas de lo que son las emulsiones y su empleo.
- 6.- Los intereses de las grandes empresas por emplear las
mezclas en caliente y seguir alquilando sus equipos -
de mezclado que tienen, como lo son las motoconforma-
doras.

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

1. Aspectos Químicos de los Asfaltos y Mezclas Asfálticas
Manuel Madrazo
Primeros cursos especiales para el personal de la Se--
cretaria de Comunicaciones y Obras Públicas (1960).
2. Apuntes de la clase de Pavimentos.
Ing. Fernando Olivera Bustamante.
Fac. de Ingenieria, U.N.A.M (1987)
3. El Asfalto
Tlaxler, Ralph Newton
Ed. Continental 1962
4. Emulsiones "Teoria y Practica"
Paul Becher
Ed. Blume (1970)
5. Emulsiones Asfálticas
Mario López Goello, Amin P. Jaakilla, Pedro Strasburger
CONRASA (1982)
6. EMULSIONES ASFALTICAS
Gustavo Rivera E.
Representaciones y servicios de ingeniería , S.A. (1980)
7. ESTRUCTURACION DE VIAS TERRESTRES
Fernando Olivera Bustamante.
ED. C.E.C.S.A (1986)

8. LAS EMULSIONES ASPALTICAS Y LAS TECNICAS DE SU APLICACION

Dept. Técnico de la Fábrica de Emulsiones Asfálticas de
Irapuato, Gto. (1968)

9. Manual del Asfalto

The Asphalt Institute (Traducido por Manuel Velázquez
PROAS EDICIONES URMO (1977)