



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

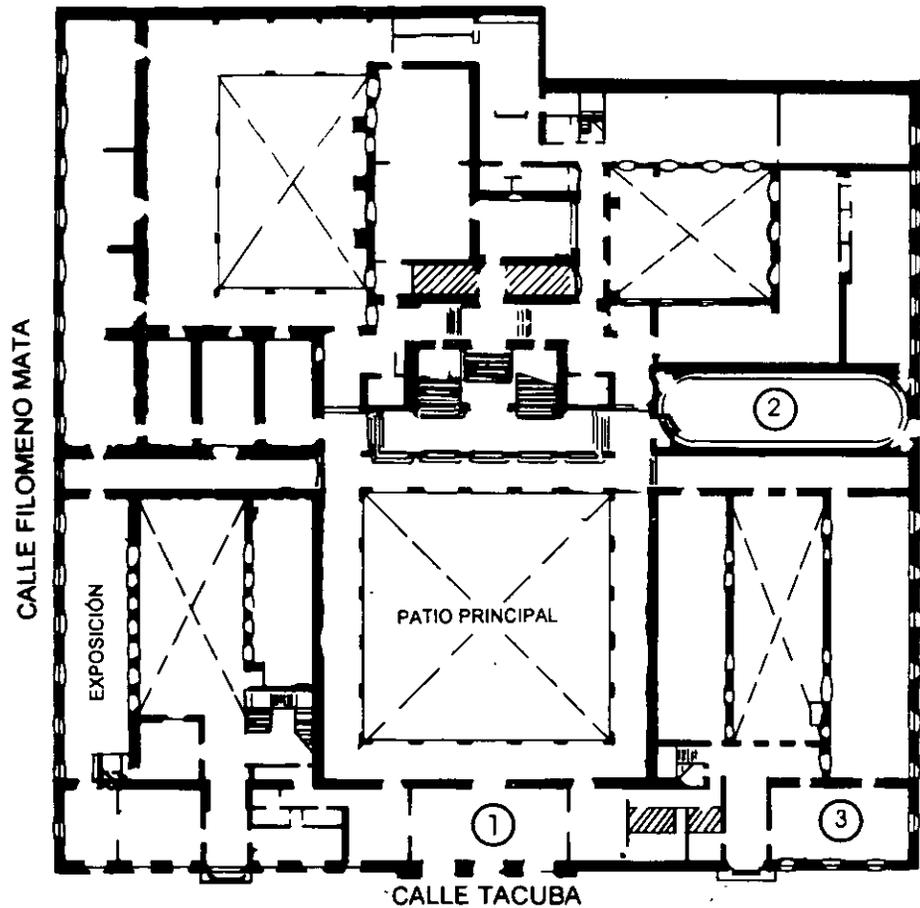
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

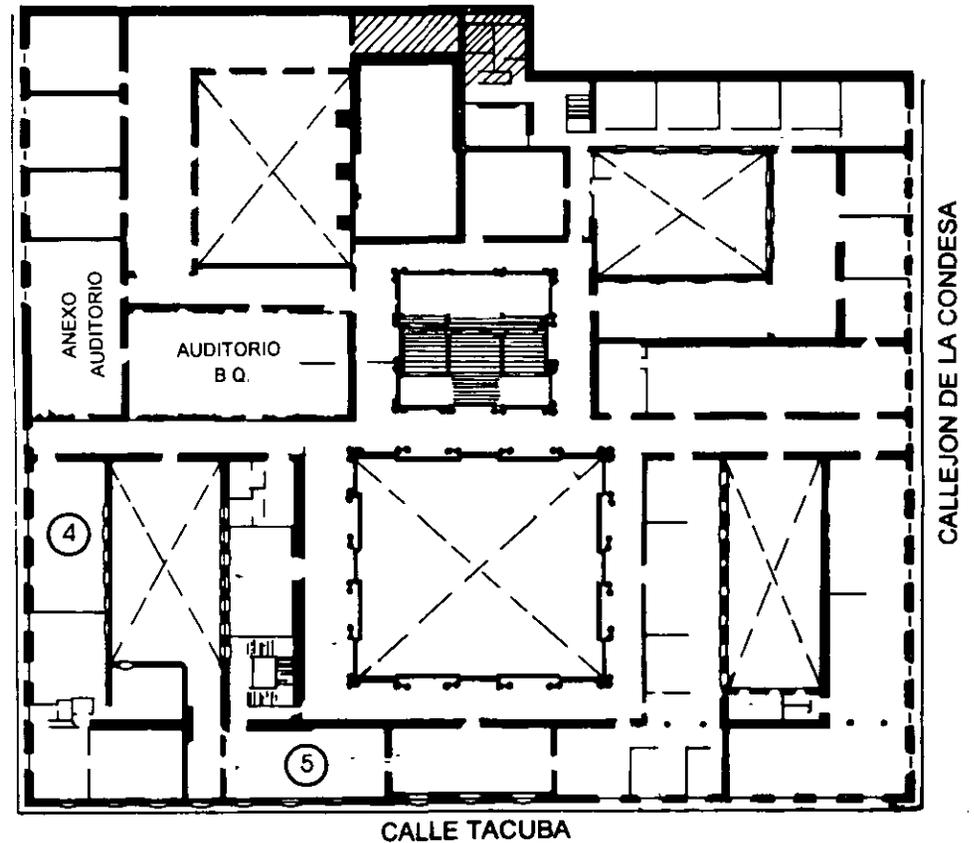
Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente
División de Educación Continua.**

PALACIO DE MINERIA

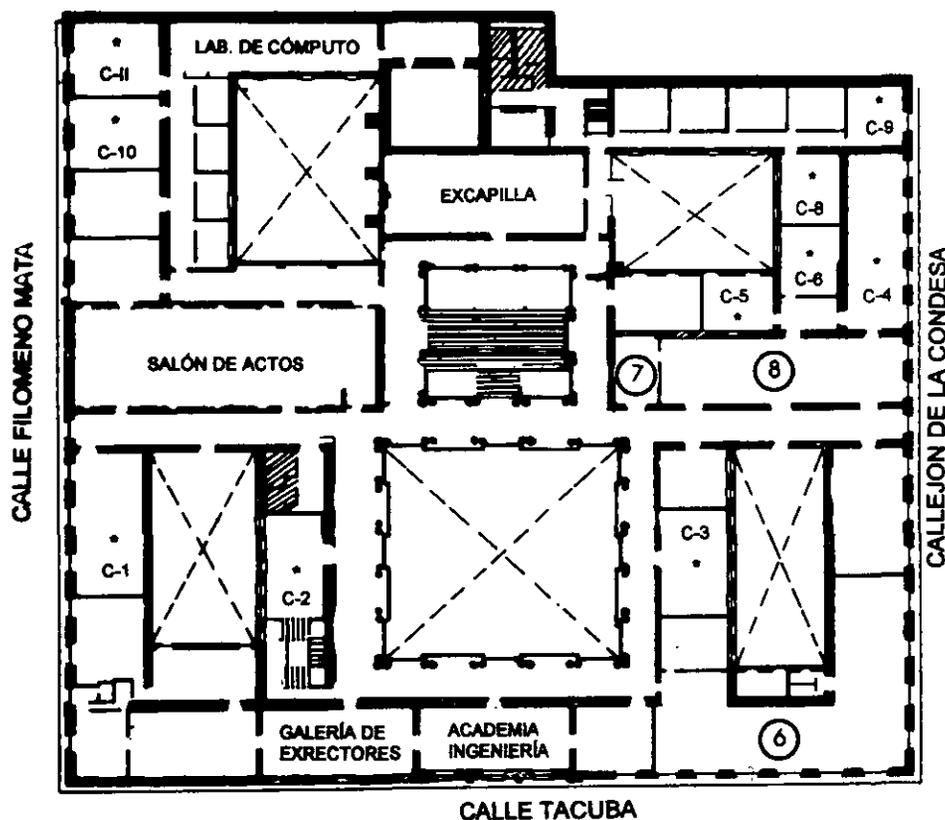


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

PALACIO DE MINERÍA



GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
 2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
 3. LIBRERÍA UNAM
 4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
 5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
 6. OFICINAS GENERALES
 7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
 8. SALA DE DESCANSO
- SANITARIOS
- * AULAS

1er. PISO



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

**CAMINOS Y PUENTES FEDERALES DE
INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS**

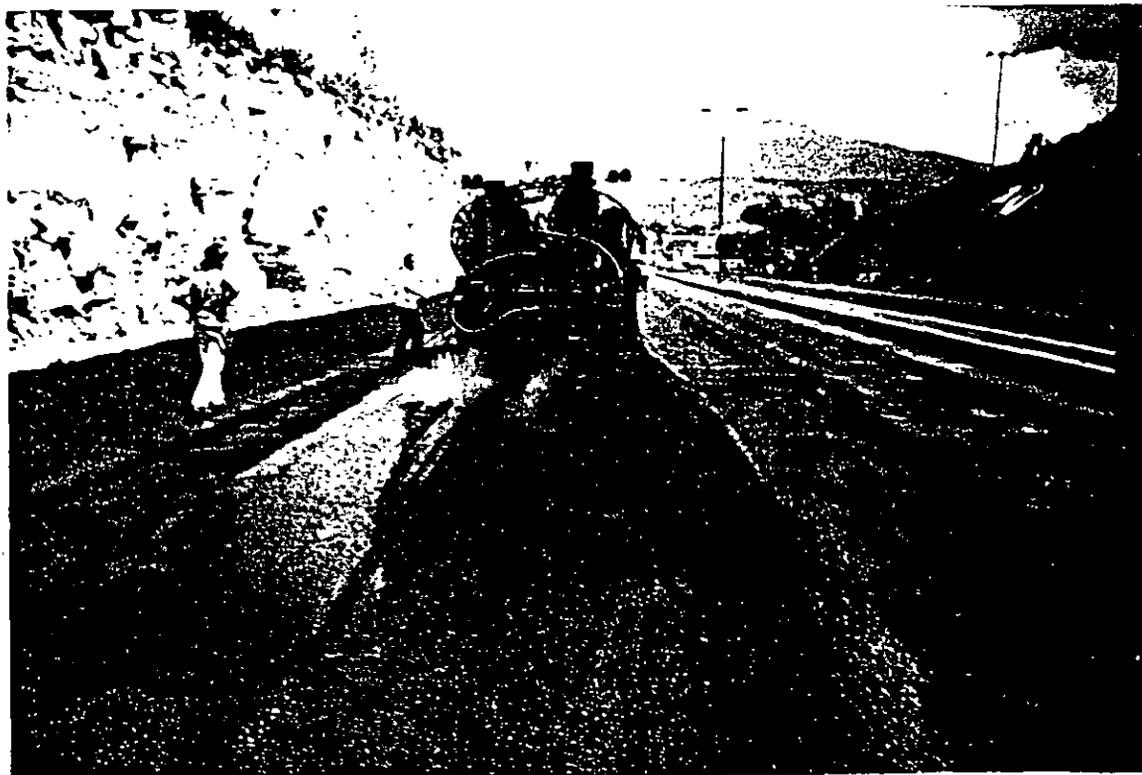
**TALLER DE EMULSIONES ASFÁLTICAS, SU
MEZCLA EN FRÍO Y RIEGO DE SELLO.**

27 de Junio del 2000.

APUNTES GENERALES

**Sr. Pedro Sánchez Pulido
Culiacán, Sin. Delegación II
Junio/2000**

“ SEMINARIO SOBRE EMULSIONES ASFÁLTICAS “



RECOPIACIÓN DE DATOS SOBRE EL USO DE LAS EMULSIONES

INSTRUCTOR: **PEDRO SÁNCHEZ PULIDO.**

INDICE

1. Introducción.....	1
2. Teoría de Emulsiones Asfáltica.....	2
2.1. Generalidades.....	2
2.1.1. Asfalto.....	2
2.1.2. Emulsificantes.....	4
2.1.3. Agregados Pétreos.....	6
2.1.4. Emulsión Asfáltica y Agregados Pétreos.....	7
2.2. Características y Clasificación de las Emulsiones Asfálticas.....	9
2.3. Ventajas del Uso de Emulsiones Asfálticas sobre los Rebajados Asfálticos y Mezclas en Caliente.....	12
2.4. Control de Calidad de las Emulsiones Asfálticas.....	13
2.4.1. Carga de la Partícula.....	13
2.4.2. Residuo por Evaporación.....	14
2.4.3. Viscosidad.....	15
2.4.4. Asentamiento.....	17
2.4.5. Retenido en Malla No. 20.....	17
2.4.6. Prueba de Mezcla con Cemento	18
3. Fabricación de Emulsiones en Planta.....	20
3.1. Transporte y almacenamiento.....	34
4. Aplicaciones de las Emulsiones Asfálticas.....	35
4.1. Tratamientos Superficiales.....	35
4.1.1. Uso de los Tratamientos Superficiales.....	36
4.1.2. Procedimiento de Aplicación.....	36
4.2. Riego de Gravillas.....	37
4.2.1. Condiciones de Aplicación.....	38
4.2.2. Procedimiento de Aplicación para el Riego de Gravillas.....	38
4.2.3. Recomendaciones Generales.....	38
4.3. Emulsiones Especiales para Riego de Impregnación.....	39
4.3.1. Recomendaciones.....	41
4.4. Mortero Asfáltico (Slurry Seal).....	42
4.4.1. Características y Usos de los Morteros Alfálticos.....	43
4.4.2. Componentes del Slurry Seal.....	45
4.4.3. Condiciones Ambientales.....	45
4.4.4. Ventajas del Slurry Seal sobre el Riego de Gravilla.....	46
4.4.5. Prueba de Cohesión.....	46

5. Mezclas Asfálticas	49
5.1. Mezcla en el Lugar o Plataforma.....	49
5.1.1. Elaboración y Aplicación de la Mezcla.....	50
5.1.2. Observaciones.....	51
5.2. Mezclas en Plantas Estabilizadoras.....	52
5.2.1. Procedimiento de Fabricación.....	53
5.2.2. Observaciones.....	53
5.3. Método de Diseño para Mezclas Asfálticas.....	54
EJEMPLO: Procedimiento para el Diseño de una Emulsión para Mezclas Asfálticas.....	55
TABLAS: d.1 Emulsiones Asfálticas Aniónicas.....	58
d.2 Emulsiones Asfálticas Catiónicas.....	59
Recomendaciones	60
Bibliografía	61

1. INTRODUCCION

Las técnicas de pavimentación donde se utiliza el asfalto como agente ligante han estado en constante desarrollo con la finalidad de mejorar la calidad y el período de vida de los caminos, así como facilitar el trabajo del constructor.

Durante mucho tiempo los asfaltos obtenidos del subsuelo fueron diluidos con solventes derivados del petróleo para obtener un producto más manejable, sin embargo, estos solventes son cada vez más difíciles de obtener y por consecuencia más caros, teniendo además el inconveniente de producir una considerable contaminación ecológica, así como riesgos en el trabajo.

Debido a lo anterior, actualmente se utiliza el agua como solvente, logrando una compatibilidad con el asfalto por medio de la aplicación de técnicas de emulsificación, siendo además esta opción, una buena respuesta a la crisis mundial de energía y a la preservación del medio ambiente.

2. TEORIA DE EMULSIONES ASFALTICAS

2.1 GENERALIDADES

Las emulsiones asfálticas comenzaron a utilizarse para la construcción y mantenimiento de carreteras a principios de este siglo. Al inicio, su crecimiento fue lento debido a la falta de conocimientos sobre su aplicación, sin embargo, actualmente el uso de las emulsiones asfálticas comprende una gran variedad de aplicaciones, desde tratamientos superficiales, mantenimiento de carreteras (bacheo), carpetas asfálticas, slurry seal y riegos de gravillas entre otros.

Para obtener excelentes resultados en la aplicación de una emulsión asfáltica es necesario seleccionar la emulsión adecuada para cada agregado pétreo y el equipo de aplicación apropiado.

Las emulsiones asfálticas son versátiles, económicas y no contaminantes, además de su fabricación y aplicación se obtiene un importante ahorro de energía. Pueden ser utilizadas en frío e incluso con materiales pétreos húmedos.

2.1.1. Asfalto

El asfalto es una mezcla de hidrocarburos que incluye grupos alifáticos saturados o parafinas, grupos nafténicos y cicloparafinas, grupos compuestos de anillos aromáticos y grupos alifáticos con enlaces dobles olefinicos.

Existen además numerosos componentes en el asfalto, tales como compuestos de nitrógeno, azufre, oxígeno y varios metales.

Típicamente los constituyentes del asfalto se dividen en asfaltenos (constituyentes sólidos, de alto peso molecular) y los maltenos (aceites de bajo peso molecular).

Los asfaltenos aportan la dureza al asfalto, mientras que los maltenos aportan las propiedades de ductilidad y adhesividad. Los aceites y resinas que están presentes influyen en la viscosidad o en las propiedades de flujo del asfalto. Debido a la compleja interacción de las diferentes sustancias en el asfalto es prácticamente imposible predecir con exactitud su comportamiento, especialmente en las emulsiones asfálticas.

En esencia, el asfalto es una estructura coloidal o una emulsión donde los maltenos son la fase continua y los asfaltenos son la fase discontinua. Existen también algunos constituyentes aromáticos que se encuentran dispersos en la fase de los maltenos.

Como se mencionó anteriormente la consistencia, la fuente y la composición del asfalto son variables, lo cual afecta directamente el funcionamiento del asfalto como interfase con el agregado.

En las emulsiones asfálticas, un factor muy importante es la calidad del asfalto utilizado ya que comprende más del 60% del producto final. El asfalto y el emulsificante deben de visualizarse como un sistema que en conjunto funciona como agente ligante. Ya que el asfalto debe de enlazarse con el agregado, es también un punto crítico la selección apropiada del agregado.

Las mezclas bituminosas usadas para la construcción de caminos están constituidas básicamente por un sistema de dos fases, el asfalto (agente ligante) y el agregado. En tal sistema. La función principal del asfalto es la de formar un enlace adhesivo con el agregado, lo cual se logra mediante una interacción mecánica o química.

Una interacción mecánica es el enlace de dos componentes a través de una interfase o superficie. Este tipo de acción es importante cuando una de las sustancias es porosa y la otra puede penetrar los poros y solidificarse. Un segundo tipo de interacción mecánica depende de la resistencia friccional debida a la presión ejercida de un componente alrededor del otro.

Un enlace químico en la interfase se desarrolla al humedecer una superficie sólida con un líquido (el asfalto puede considerarse como un líquido). Una vez que se obtiene el contacto molecular las dos fases pueden interactuar a través de fuerzas intermoleculares. La fuerza de la interacción depende del tipo de enlace químico formado. El enlace químico se puede clasificar en un enlace primario o un enlace secundario. Un enlace primario puede ser iónico, covalente o metálico.

El enlace iónico se forma debido a interacciones electrostáticas entre átomos altamente electronegativos y electropositivos. Un elemento electronegativo dona electrones a los átomos electropositivos formando iones que son responsables del enlace electrostático.

El enlace covalente se obtiene cuando un electrón es compartido por dos átomos. La capa electrónica de los átomos pierde su identidad y forma un orbital molecular alrededor de los núcleos de los átomos que están interactuando.

Un enlace metálico es similar al enlace covalente en donde los electrones son compartidos por los núcleos de varios átomos.

La calidad o durabilidad del enlace dependerá de las propiedades del asfalto, del agregado y de las condiciones bajo las cuales se forma el enlace.

2.1.2 Emulsificantes

Las propiedades de una emulsión asfáltica dependen en gran medida del emulsificante a utilizar. Un emulsificante es un agente tensoactivo que modifica la tensión superficial en la interface entre las partículas de asfalto y de agua, por lo que mantiene los glóbulos de asfalto estables en suspensión y controla el tiempo de rompimiento.

Un producto químico que sea utilizado como emulsificante debe tener en su estructura química dos zonas perfectamente definidas, una parte hidrófoba o apolar (repelente al agua) y una parte hidrófila o polar (afin al agua). Este comportamiento permite obtener una dispersión estable del asfalto en el agua, obteniendo así la emulsión deseada.

La parte polar de la molécula del emulsificante asfáltico presenta cargas libres muy positivas o muy negativas, por lo que los emulsificantes deberán encontrarse en forma de sales para obtener su funcionamiento como tales.

La mayoría de los emulsificantes catiónicos son principalmente aminas grasas, además de aminoaminas e imidazolininas.

Las aminas son principalmente convertidas en sales mediante la reacción con ácido clorhídrico.

Las sales cuaternarias de amonio son utilizadas normalmente como aditivos, son sales solubles en agua, que no requieren la adición de ácido, presentan estabilidad y son efectivas.

De acuerdo a lo anterior, se puede afirmar que la emulsión asfáltica es una dispersión de una fase orgánica o aceitosa líquida (asfalto) en otra fase líquida (agua) en forma de pequeños glóbulos (Fig. 1).

Esta dispersión se obtiene por medios mecánicos (molino coloidal) y por medios fisicoquímicos que consisten en la adición de agentes emulsificantes.

La presencia de agente emulsificante facilita la dispersión inicial del asfalto en el agua y evita que las partículas formadas vuelvan a unirse. Cuando este fenómeno ocurre, se dice que la emulsión ha roto.

Existen muchos factores que pueden afectar la estabilidad de las emulsiones, sin embargo, en la práctica la rotura de la emulsión ocurre al contacto de ésta con las superficies minerales de los materiales pétreos y/o a la evaporación del agua de la emulsión (Fig. 2).

Una vez rota la emulsión, el asfalto queda firmemente adherido al material pétreo debido a la acción del agente emulsificante ya que éste forma un puente químico entre ambas superficies.

El rompimiento de una emulsión es el proceso de deposición del asfalto en la superficie del material de construcción.

Debido a que todos los materiales presentan características superficiales distintas, se requiere de una emulsión diferente en cada caso.

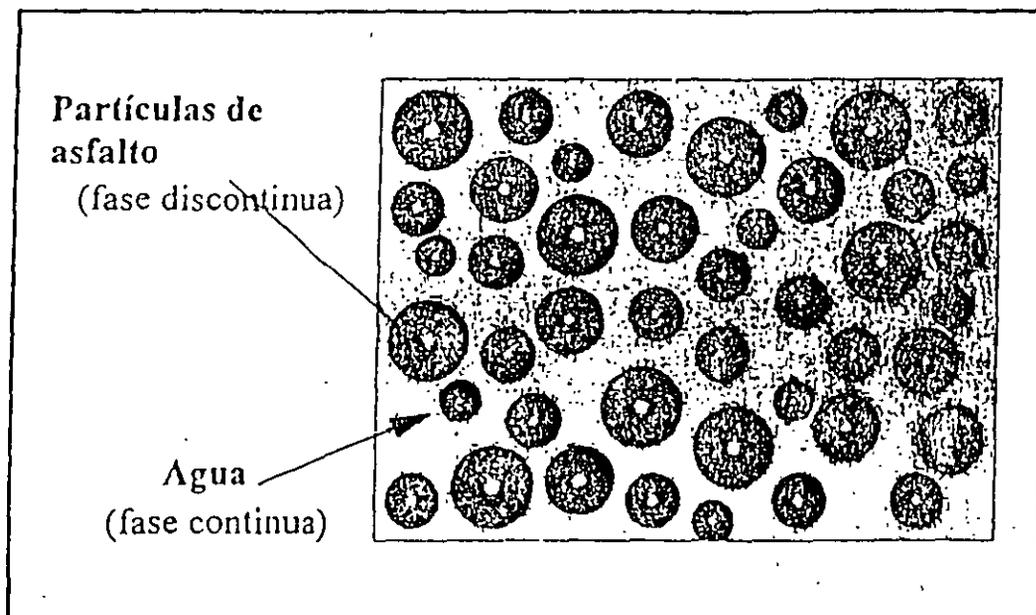


Figura 1.- Emulsión asfáltica

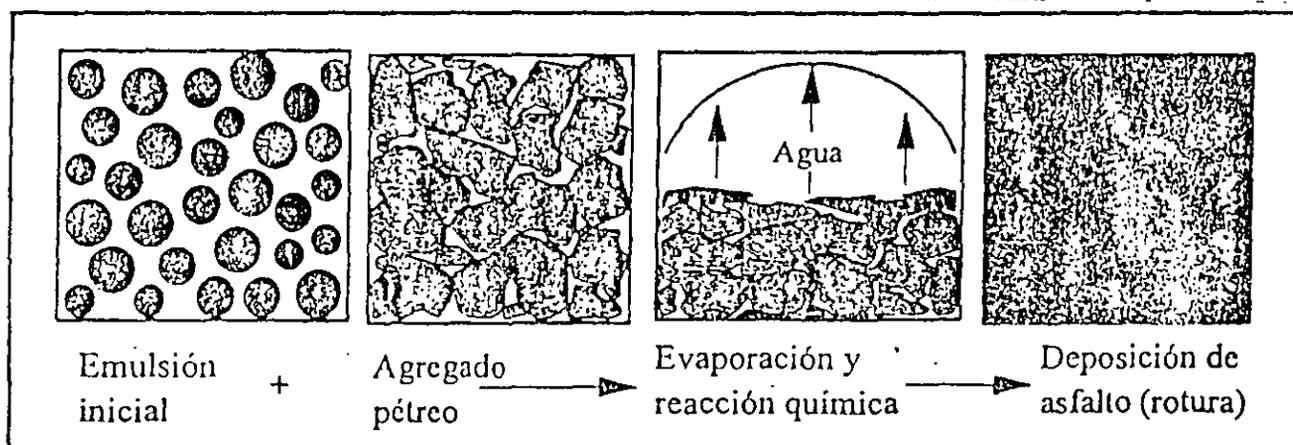


Figura 2.- Rompimiento de una Emulsión Asfáltica

2.1.3 Agregados Pétreos

Los materiales pétreos se combinan con asfaltos para preparar mezclas con diversas aplicaciones. Como los agregados constituyen normalmente el 90% en peso o más de estas mezclas, sus propiedades tienen gran influencia sobre las del producto terminado.

Los pétreos más empleados son piedra y escoria partida, gravas, arenas y fillers. En la construcción de pavimentos asfálticos el control de las propiedades de los pétreos es tan importante como el del asfalto.

Los agregados pétreos utilizados en la construcción de carreteras, al igual que otras sustancias, poseen cargas superficiales que se encuentran en desequilibrio generando cierta energía superficial. Cuando la superficie del agregado se cubre con un líquido de polaridad opuesta se satisfacen las demandas de energía y se forma un enlace. Debido a lo anterior, los agregados pueden ser hidrofílicos o hidrofóbicos.

Se considera que los agregados con carácter ácido son hidrofílicos y los agregados básicos son hidrofóbicos. Las rocas ácidas generalmente proporcionan mejor adhesión que las rocas básicas que contienen cuarzo y otra clase de feldespatos (Tabla 1).

TIPO DE PETREO	% CUARZO	CARACTER ACIDO/BASE
Rocas Ígneas		
Granito	30	Acido
Riolita	32	Acido
Rocas Metamórficas		
Cuarcita	84	Acido
Pizarra	29	
Micacita	37	Acido
Rocas Sedimentarias		
Arenisca	79	Acido
Arenisca Caliza	35	
Horsteno	93	Acido
Piedra caliza	6	Básico
Dolomita	5	Básico

Tabla 1.

2.1.4 Emulsión Asfáltica y Agregado Pétreo

Como se ha mencionado anteriormente, una emulsión asfáltica químicamente está compuesta por emulsificante, asfalto y agua.

El agua es el segundo mayor componente en la formulación de una emulsión, por lo que debe de tomarse en cuenta la calidad del agua que se utiliza, ya que puede tener un gran impacto en el funcionamiento de la emulsión. Además, el agua en general, afecta directamente la relación entre el asfalto y el agregado.

Las reacciones químicas que ocurren entre la superficie del agregado y las emulsiones determinan las propiedades de adhesión, cohesión, estabilidad, compatibilidad, asentamiento, curado, etc. de la mezcla. Anteriormente se consideraba a los agregados calizos como electropositivos y a los silicosos como electronegativos. Esto puede ser cierto siempre y cuando el agregado esté perfectamente seco. Cuando están húmedos ambos agregados tienen carga negativa.

Los materiales calizos o de naturaleza básica, que son fragmentos de roca con alto contenido de carbonato de calcio, al ser humedecidos presentan una ionización en su superficie, generando cargas electrostáticas del tipo negativo y compuestos básicos (Figura 3). Por otra parte, los materiales ácidos o silicosos, que son fragmentos de roca ácida con alto contenido de sílice, al ser humedecidos producen una ionización en la superficie del material, formando iones de carga negativa (Figura 4).

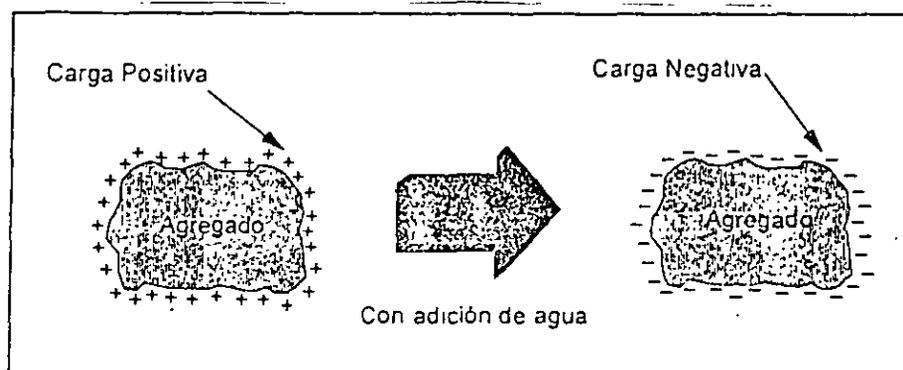


Figura 3.- Agregados pétreos calizos o de naturaleza básica.

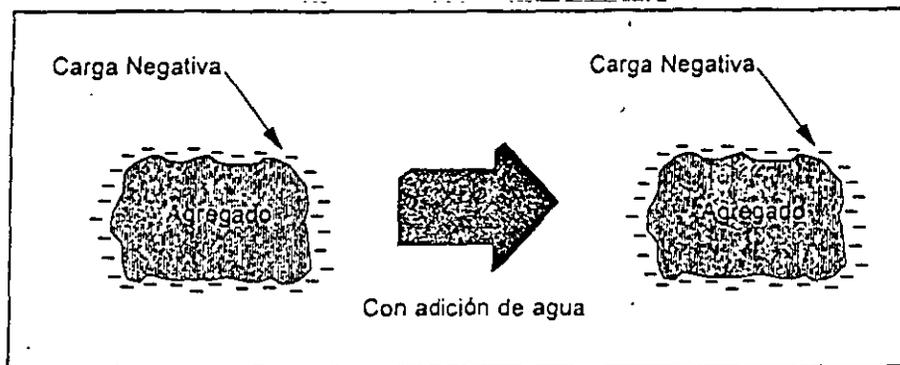


Figura 4.- Agregados pétreos ácidos o silicosos.

Las características físicas del agregado pétreo, al igual que las características químicas, deben de tomarse en cuenta, ya que juegan un papel importante para el adecuado funcionamiento de las emulsiones asfálticas en la fabricación y mantenimiento de carreteras.

Cuando la superficie de un agregado pétreo presenta rugosidad, puede haber agua o aire atrapado entre las hendiduras de la superficie, ocasionando un mojado inadecuado.

La presencia de poros, hendiduras y capilares en la superficie de la roca ocasiona la penetración del asfalto dentro de los mismos, y consecuentemente, la formación de una interacción física del asfalto y el agregado.

La presencia de polvo en la superficie del agregado pétreo reduce la velocidad de difusión y de mojado del asfalto. En algunos casos puede llegar a formarse un enlace inadecuado entre el asfalto y el polvo.

2.2 CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

De acuerdo con su naturaleza iónica, las emulsiones asfálticas se clasifican en iónicas (catiónicas y aniónicas) y no iónicas. Las del tipo no iónico prácticamente no son utilizadas.

Las emulsiones aniónicas se obtienen empleando emulsificantes del tipo aniónico, tales como las sales sódicas o potásicas de ácidos grasos o resínicos, mismas que actúan como jabones ($\text{RCOO} \cdot \text{Na}$) ionizándose en el agua en Na^+ y en RCOO^- . Los aniones RCOO^- se adsorben en los glóbulos de asfalto confiriéndole a dichas partículas polaridad negativa, mientras que los cationes Na^+ son adsorbidos por el agua.

Este tipo de emulsiones tienen un carácter básico debido a que se trabajan con valores de pH mayores a 7 (normalmente entre 11 y 12).

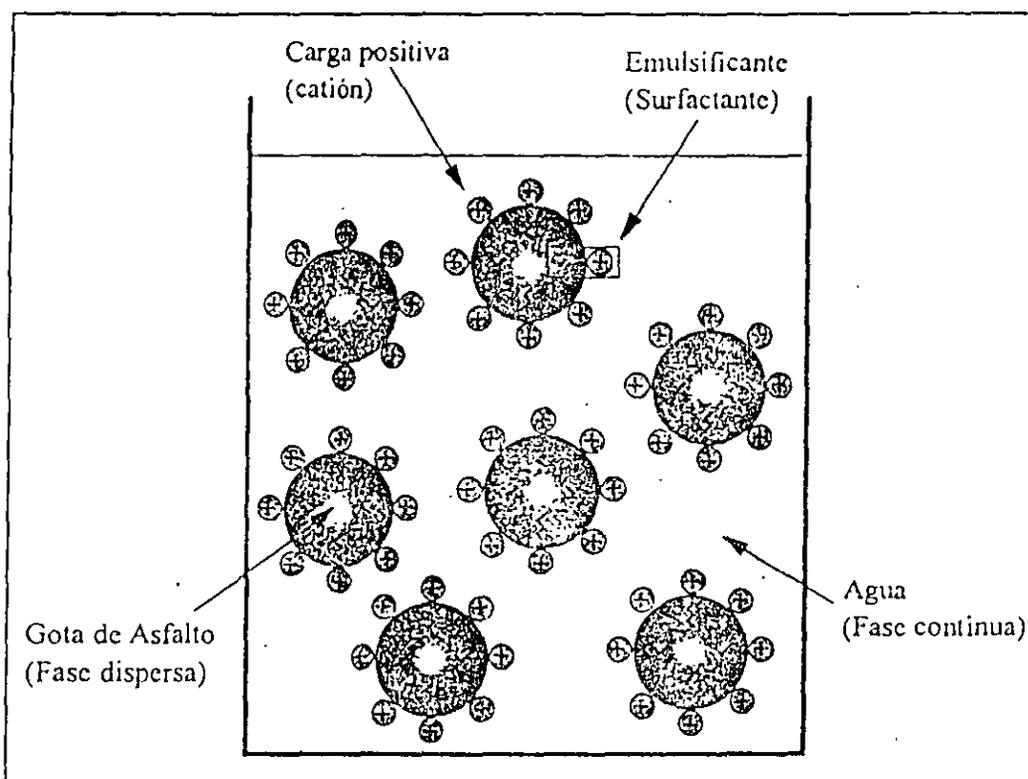


Figura 5.- Emulsión catiónica

Por su parte, las emulsiones catiónicas se obtienen empleando emulsificantes del tipo catiónico, siendo comúnmente sales de compuestos orgánicos electropositivos como sales de amonio cuaternario, clorhidratos de diaminas y poliaminas grasas, amidoaminas e imidazolininas derivadas normalmente del sebo animal o de tall oil.

Los clorhidratos de diamina ($R_1NH_2R_2NH_2 \cdot 2HCl$) se ionizan en el agua en cationes $R_1NH_2R_2NH_3^+$ y en aniones $2Cl^-$. Estos últimos son adsorbidos por el agua, mientras que los cationes son adsorbidos por los glóbulos de asfalto confiriéndoles una polaridad positiva (Fig. 5).

Las emulsiones catiónicas presentan un carácter ácido ya que se trabajan con valores de pH menores a 7 (normalmente entre 1.5 y 4.0)

Las emulsiones se clasifican también dependiendo de la velocidad de separación del asfalto respecto al agua y su posterior deposición al material pétreo. Los términos de rompimiento rápido, medio, lento y rompimiento superestable se utilizan para simplificar y estandarizar esta clasificación. (Tabla 2).

Tipo de Rompimiento	Características	Tiempo de Descarga	Kg emulsif. Por ton emulsión	% de Cemento Asfáltico	PH Solución Jabonosa	Aplicación
Rápido	Gran carga efectiva Poca sedimentación Gran adhesividad	0-10 min.	2.0 - 3.5	63 - 65	2.0 - 3.5	Riego de gravilla Riegos de liga
Medio	Buena adhesividad Carga efectiva Poca sedimentación	15-25 min.	4.0 - 7.0 * 8.0 dependiendo del pétreo	60 - 62	1.8 - 2.5	Mezclas asfálticas
Lento	Poca carga efectiva Buena adhesividad Sedimentación alta	30-60 min.	8.0 - 10.0	60 - 62	1.8 - 2.5	Mezclas asfálticas
Superestable	Asentamiento considerable	60 min. 24 horas	10 - 18	60 - 62	1.8 - 2.5	Mezclas asfálticas, Lechadas asfálticas o Slurry Seal Microsuperficies

Tabla 2.- Clasificación de las emulsiones según el tipo de rompimiento.

Se ha comprobado que en las emulsiones de rompimiento medio y lento fabricadas con más de 0.6% de emulsificante tipo poliamina se presenta un asentamiento más marcado. Este fenómeno es reversible y se soluciona recirculando la emulsión cada tercer día en caso de tener que ser almacenada por algún periodo de tiempo. Otra opción para evitar el asentamiento consiste en modificar la viscosidad de la fase dispersante mediante la adición de polímeros.

Es también recomendable recircular las emulsiones de rompimiento superestable cada tercer día, ya que presentan un asentamiento considerable.

Además de la selección del agente emulsificante, otro factor importante que influye en la calidad final de la emulsión asfáltica es el trabajo efectuado por el molino coloidal. Este tipo de equipos está compuesto por un rotor y un estator cuya separación es regulable, determinándose de esta manera la abertura de dicho molino.

La abertura del molino determina el tamaño de los glóbulos (granulometría de la emulsión) y esto incide directamente en la estabilidad de la emulsión.

2.3 VENTAJAS DEL USO DE EMULSIONES ASFALTICAS SOBRE LOS REBAJADOS ASFALTICOS Y MEZCLAS EN CALIENTE

1. La presencia del agua y el emulsificante en la emulsión asfáltica favorece el mezclado del cemento asfáltico con los materiales pétreos, obteniéndose mejores cubrimientos de éstos.
2. Las adhesividades pasiva y activa que se obtienen mediante el uso de una emulsión asfáltica son superiores a las obtenidas con rebajados asfálticos. La presencia del emulsificante asegura una unión química asfalto-agregado con lo que se obtiene mejor cubrimiento y adherencia.
3. Se obtiene un ahorro energético al evitarse totalmente el calentamiento de solventes ya que en la emulsión lo que se pierde es agua.
4. Se evita contaminación ambiental al no efectuarse la evaporación de solventes mencionada.
5. La emulsión asfáltica es el método más práctico para el transporte, almacenamiento y aplicación del asfalto en forma líquida.
6. El empleo de las emulsiones puede llevarse a cabo controlando el factor atmosférico, mientras que el trabajo con rebajados exige la presencia de un clima favorable.
7. En la actualidad prácticamente todos los trabajos de construcción, reparación y mantenimiento de carreteras puede efectuarse con el uso de las emulsiones, con excepción de la fabricación de concreto asfáltico.

2.4 CONTROL DE CALIDAD DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

Es de suma importancia tener un adecuado control de la calidad de las emulsiones para que su almacenamiento, manejo y aplicación sea lo más efectivo posible.

Las pruebas de control de calidad que se realizan en el laboratorio tienen los siguientes objetivos:

- Medir las propiedades relacionadas con el almacenamiento, manejo y aplicación en campo.
- Controlar la calidad y uniformidad del producto durante su fabricación y uso.
- Predecir su comportamiento en campo.
- Cumplir con las especificaciones requeridas.

Los principales análisis para emulsiones asfálticas se mencionan a continuación, siendo importante señalar que estas pruebas deben efectuarse una vez que la muestra de emulsión a ser analizada se encuentre a temperatura ambiente.

2.4.1. Carga de la Partícula

Con esta prueba se identifica la naturaleza de la emulsión (catiónica o aniónica). Se realiza mediante la inmersión de un electrodo positivo (ánodo y un electrodo negativo (cátodo) en una muestra de emulsión que se conectan a una fuente de corriente directa controlable. Al cabo de una variación de corriente específica los electrodos se observan para determinar si el cátodo tiene una capa apreciable de asfalto depositado. El asfalto de las emulsiones cartiónicas migra hacia el cátodo.

Equipo

- Amperímetro en escala de mV.
- Vaso de precipitado de 250 ml.
- Electrodo de acero inoxidable.
- Cronómetro.

Procedimiento

1. Poner 200 ml. de emulsión en el vaso de precipitado.
2. Introducir los electrodos nivelados y a $\frac{3}{4}$ de altura.
3. Prender el amperímetro y nivelar la lectura a 8.0 ma.
4. Comenzar a medir el tiempo.
5. Medir el tiempo hasta que la lectura llegue a 2.0 ma.
6. Sacar los electrodos y observar en cual de los dos se adhirió el asfalto.

Nota: En el caso de las emulsiones catiónicas se puede utilizar un criterio general en base al tiempo de descarga para tener una idea del tipo de emulsión que se está analizando (no está estandarizado por ASTM):

Tiempo (minutos)	Tipo de Emulsión
0 - 10	Rápidas
15 - 35	Medias
35 - 60	Lentas
Más de 60	Superestables

Este criterio es muy útil sobre todo en el trabajo en campo cuando existe duda respecto al tipo de emulsión con el que se está trabajando.

2.4.2. Residuo por Evaporación

Esta prueba está diseñada para medir el porcentaje de cemento asfáltico en la emulsión mediante la evaporación del agua. Los porcentajes típicos de cemento asfáltico en la emulsión normalmente varían entre 57 y 67%

Equipo

- Recipiente cilíndrico de 500 ml. de capacidad boca amplia (cacerola o charola con mango).
- Hornilla de calentamiento.
- Balanza de 1.0 g. de precisión.
- Varilla de agitación.

Procedimiento

1. Pesar el recipiente de calentamiento (A).
2. Pesar aproximadamente 100 g de emulsión en el recipiente (B).
3. Calentar la emulsión a fuego directo hasta ebullición con agitación continua por medio de la varilla.
4. Enfriar cuando comiencen a evaporar los solventes (Presencia de humo y ausencia de burbujas de aire).
5. Pesar el residuo dentro del recipiente (C).
6. Calcular el porcentaje de cemento asfáltico según la siguiente expresión:

$$\%CA = (C - A) (100)(B-A)$$

Otra opción (no estandarizada por ASTM) para llevar a cabo esta prueba es la utilización de una balanza de radiación infrarroja, la cual reporta directamente la lectura del agua evaporada de la emulsión. Se aplica el siguiente procedimiento:

1. Programar la balanza para operar a 120°C durante 17-20 minutos.
2. Pesar 50 g de emulsión y homogeneizar.
3. Colocar 5 g en una charola de aluminio previamente tarada.
4. Iniciar la operación de la balanza, la cual después de transcurrido el tiempo programado reportará la lectura automática del porcentaje de agua evaporada.

$$\%CA = 100 - \% \text{ agua reportado}$$

En caso de que se tengan diversas muestras de emulsiones para ser analizadas, puede seguirse el procedimiento anterior utilizando un horno con capacidad múltiple, en el cual se colocan dichas muestras a 120° C durante 24 horas. No existe variación significativa en los resultados obtenidos por los diversos métodos.

2.4.3. Viscosidad

La viscosidad se define como la resistencia que presenta un fluido al movimiento. En el caso de las emulsiones asfálticas la prueba de viscosidad es utilizada como una medida de consistencia y los resultados se reportan en segundos Saybolt Furol. Por conveniencia y exactitud de la prueba, las viscosidades se miden a dos diferentes rangos de temperatura 50 y 25° C.

La viscosidad de las emulsiones es un parámetro importante para efectuar los riegos de liga o adherencia y los riegos de gravilla, en este último, se presenta el fenómeno de embebido.

La viscosidad de las emulsiones está relacionada con cuatro factores importantes:

1. **Contenido de cemento asfáltico.** A partir de contenidos de cemento asfáltico superiores al 65% y considerando pequeños aumentos en la concentración de este último, la viscosidad de la emulsión se eleva considerablemente. Las características del cemento asfáltico utilizado también ejercen influencia en este parámetro.
2. **Tamaño de la partícula.** El tamaño de la partícula es determinante en la viscosidad de la emulsión, entre menor es el tamaño de la partícula mayor es la viscosidad de la emulsión.
3. **La viscosidad de la fase continua.** El aumento de la viscosidad de la fase continua (agua) con diversos aditivos como celulosas y gomas aumenta la viscosidad de la emulsión y evita tener asentamientos, sin modificar las propiedades de la emulsión en cuanto a su funcionamiento en campo.
4. **La naturaleza química del emulsificante.** De acuerdo a la composición química y a la dosificación del emulsificante se puede incrementar la viscosidad de la emulsión.

Equipo

- Viscosímetro Saybolt Furol.
- Copas de aforación de 60 c.c.
- Vasos de precipitado de 200 ml.
- Plato de calentamiento.

Procedimiento

1. Poner 100 ml de la emulsión en un baño de temperatura durante 15 minutos. señalar la temperatura (25 o 50°C).
2. Estabilizar la temperatura del viscosímetro durante 30 minutos.
3. Llenar el recipiente del viscosímetro con emulsión y dejar que se estabilice a la temperatura deseada por 5 minutos.
4. Quitar el tapón de corcho de la parte baja del viscosímetro y comenzar a medir el tiempo en ese momento.
5. Cuando la copa de aforo se llene hasta la marca del cuello, detener la medición del tiempo.
6. El reporte se realiza en segundos y la medida debe efectuarse en el viscosímetro Saybolt Furol.

2.4.4. Asentamiento

La prueba de asentamiento se utiliza para determinar la estabilidad de la emulsión cuando se almacena. Esta prueba sirve además, para indicar la calidad de la emulsión aún cuando no se valya a almacenar por un periodo de tiempo. Normalmente esta prueba se diseña a cinco días, sin embargo, cuando la emulsión va a ser utilizada inmediatamente puede checarsse el asentamiento a un día.

Procedimiento

1. Llenar una probeta o cilindro graduado de 500 c.c. con una muestra de emulsión recién fabricada.
2. Dejar en reposo uno o cinco días.
3. Obtener 50 ml de muestra de la parte alta y otra de la más baja.
4. Obtener el porcentaje de residuo asfáltico de ambas muestras.
5. Obtener el porcentaje de asentamiento según la siguiente expresión:

$$\% \text{ Asentamiento} = B - A$$

Donde:

A = % CA en la parte de arriba

B = % CA en la parte de abajo

2.4.5. Retenido en Malla No. 20

La prueba del retenido en la malla No. 20 complementa la prueba del asentamiento ya que se utiliza para determinar la cantidad de asfalto en forma de glóbulos grandes que no fueron detectados en la prueba de asentamiento y que indican la calidad de molienda obtenida.

Procedimiento

1. Pesar 100 ml de emulsión recién fabricada (A).
2. Pesar una malla No. 20 complemente seca (B).
3. Pasar a través de esta malla el total de la emulsión.
4. Quitar el exceso de emulsión en la malla con agua.
5. Secar y pesar la malla (C).
6. Calcular el porcentaje de asfalto retenido según la siguiente expresión:

$$\% \text{ Retenido} = (C-B)/A$$

7. Volver a realizar la prueba al tercer día de fabricada la emulsión y comparar los resultados.

2.4.6. Prueba de Mezcla con Cemento

Es prueba se realiza para emulsiones lentas y superestables del tipo aniónico (en algunos países se aplica también a emulsiones catiónicas) y mide la capacidad de reacción de un determinado emulsificante.

Las emulsiones lentas y superestables se utilizan con materiales finos y con materiales que tienen polvos. Para esta prueba, ASTM ha estandarizado el uso del cemento tipo III (Fraguado rápido) el cual es difícil de obtener. Por ese motivo puede usarse el cemento Portland para fines prácticos.

La reacción de mezclado de cemento con emulsiones catiónicas y no catiónicas es muy diferente. Las emulsiones catiónicas reaccionan con el cemento debido al área superficial de éste último y la aniónicas reaccionan químicamente con los constituyentes del cemento formando una sal insoluble en agua.

Equipo

- Balanza con precisión de ± 0.1 g.
- Malla circular "U:S: Standard" de aberturas cuadradas, de 0.177 mm, No. 80.
- Malla circular "U:S: Standard" de aberturas cuadradas, de 1.41 mm. No. 14 con su fondo.
- Recipiente metálico de fondo redondo de 500 ml de capacidad.
- Varilla metálica de extremos redondeados de 1.25 cm de diámetro aproximadamente.
- Probeta de vidrio de 100 ml.
- Cemento tipo III (Puede utilizarse Cemento Portland Tipo I).
- Emulsión asfáltica.

Procedimiento

1. Preparar 200 g de emulsión asfáltica ajustándola con agua a un contenido de cemento asfáltico del 50%.

Para lograr la dilución de la emulsión se emplean las siguientes ecuaciones:

$$X = (A)(B)/C$$
$$Y = A - X$$

Donde:

A = Gramos de emulsión diluida que se quiere preparar.

B = % de asfalto que se quiere obtener en la emulsión diluida.

C = % de asfalto en la emulsión original.

X = Gramos de emulsión original que se mezclarán con agua para obtener la nueva emulsión diluida.

Y = Gramos de agua que se deben añadir a la emulsión original para obtener la nueva emulsión diluida.

2. Pesar 100 g de la emulsión diluida a 25°C en el recipiente metálico.
3. Cribar una porción de cemento a través de la malla de 0.177 mm. No. 80. Tomar 50 ± 0.1 g de fracción que pasa por dicha malla y agregarlos a los 100 g de la emulsión diluida. Mezclarlos mediante movimientos circulares de la varilla metálica logrando que todo el cemento quede mezclado perfectamente con la emulsión.
4. Después de transcurrido un minuto de mezclado agregar 150 ml de agua y continuar agitando por 3 minutos más.
5. Cribar la mezcla a través de la malla No. 14, cuyo peso incluyendo el fondo se habrá anotado previamente como Wt. Lavar con agua el recipiente donde se hizo la mezcla y pasar este lavado a través de la malla, la cual se lavará con agua hasta que salga transparente. Para el lavado de la malla, el agua deberá dejarse caer desde una altura de 15 cm aproximadamente para no forzar el paso de los grumos retenidos.
6. Colocar el fondo de la malla y secar en el horno a una temperatura de 163° C hasta peso constante.
7. Pesar la malla con su fondo y el retenido, anotando el peso como Wr.
8. Calcular el peso en gramos de material retenido en la malla y en el fondo mediante la siguiente expresión:

$$M = W_r - W_t$$

Donde:

M = Peso del material retenido en la malla y el fondo en gramos.

Wr = Peso de la malla, fondo y material retenido en gramos.

Wt = Peso de la malla y fondo en gramos.

El valor de M será el que se reporte como resultado de la prueba de mezcla con cemento, expresado como porcentaje de los 100 g de la emulsión empleada.

La especificación para el valor de M es de máximo 2%.

3. FABRICACION DE EMULSIONES EN PLANTA

Una planta de emulsión se compone de tres áreas básicas:

Molino coloidal: Dispositivo mecánico que tiene la capacidad de separar el asfalto en pequeños glóbulos. Está formado por un rotor de alta velocidad (1,000 – 6.000 rpm) con un rango de abertura en el molino de 0.25 a 0.50 mm, lo que permite obtener tamaños de glóbulos del orden de 1 a 10 micras.

Tanque de solución jabonosa: Se utiliza para mezclar el emulsificante y el agua para obtener una solución diluida de emulsificante.

Tanques de almacenamiento: Se requieren tanques para almacenar el asfalto, el emulsificante y la emulsión final. Para la emulsión final se recomiendan cuatro tanques para los diferentes tipos de emulsión.

Para fabricar la emulsión asfáltica se bombea el asfalto de su tanque de almacenamiento al molino coloidal. En el molino coloidal se combinan el asfalto y el emulsificante previamente diluido y con un pH ajustado para formar la emulsión asfáltica, la cual se bombea al tanque de almacenamiento adecuado.

La temperatura de entrada del asfalto y de la solución jabonosa al molino coloidal es un factor muy importante para obtener buena calidad en la emulsión fabricada, ya que estas variables son indispensables para controlar el contenido del asfalto y la temperatura final de la emulsión.

La temperatura a la salida de molino coloidal no debe exceder 85°C para evitar la ebullición del agua, ya que la pérdida por evaporación implica una mayor concentración de asfalto en la emulsión.

Entre más duro sea el asfalto con el que se trabaje, mayor deberá ser la temperatura de entrada al molino para lograr su emulsificación.

La solución jabonosa normalmente se alimenta a una temperatura de 45°C.

La solución jabonosa se prepara mezclando el agua, el ácido y el emulsificante hasta lograr la dispersión de éste último, efectuándose un ajuste final de pH. Sin embargo, en algunos casos dependiendo de las características del producto es necesario adicionar el emulsificante al principio.

A continuación se anexan diversas gráficas que ayudan a controlar el contenido de asfalto en la preparación de una emulsión basándose en la temperatura de la solución jabonosa y del asfalto.

**PREPARACION DE EMULSIONES
57 % DE CEMENTO ASFALTICO**

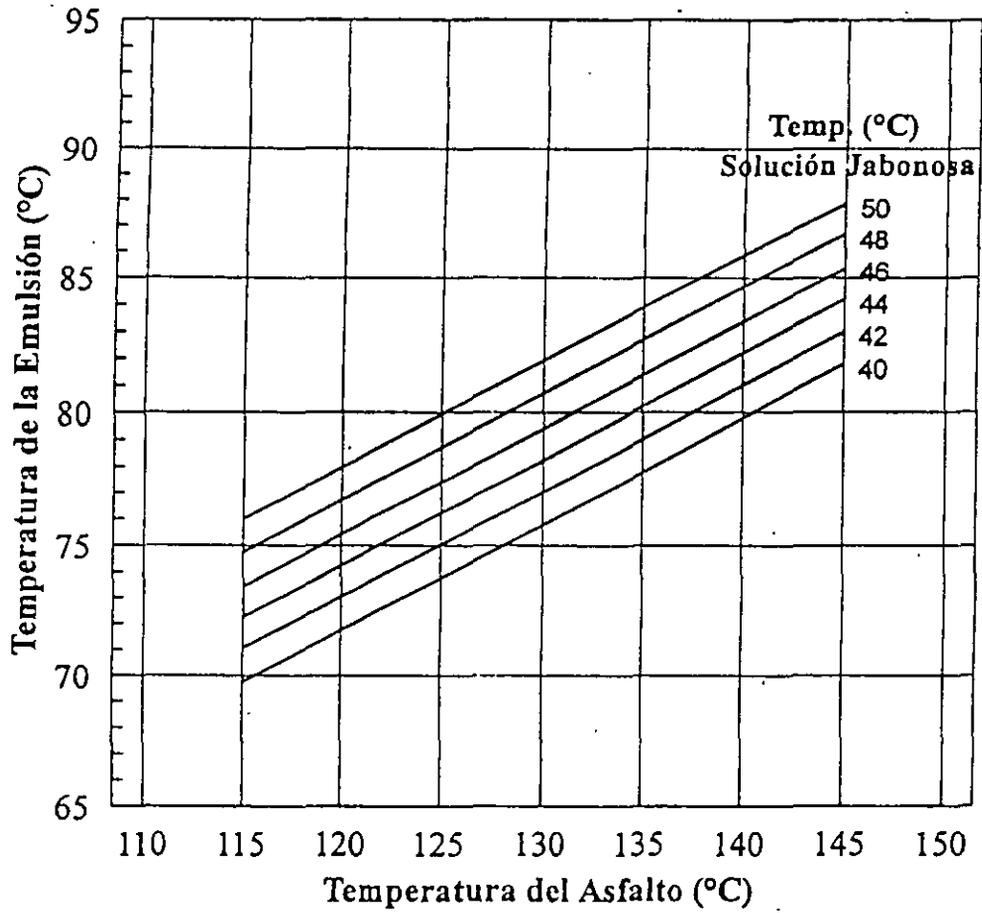


Figura 4.

PREPARACION DE EMULSIONES 58 % DE CEMENTO ASFALTICO

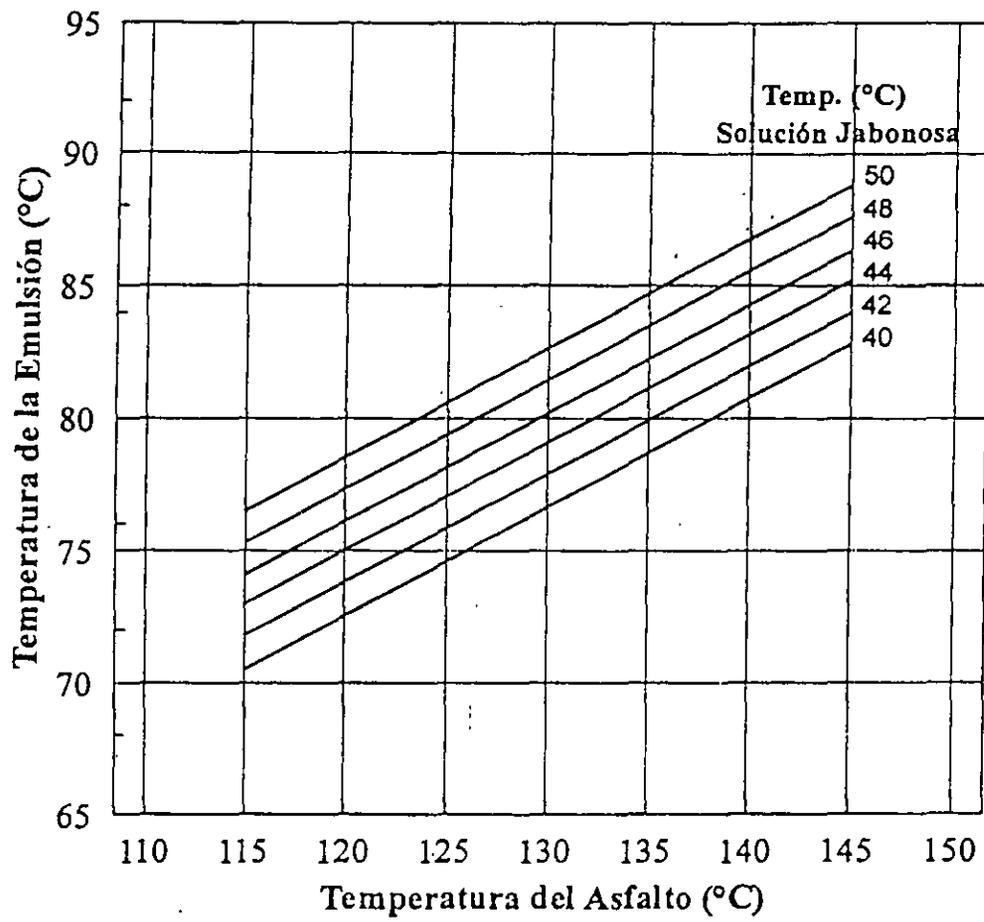


Figura 5.

PREPARACION DE EMULSIONES 59 % DE CEMENTO ASFALTICO

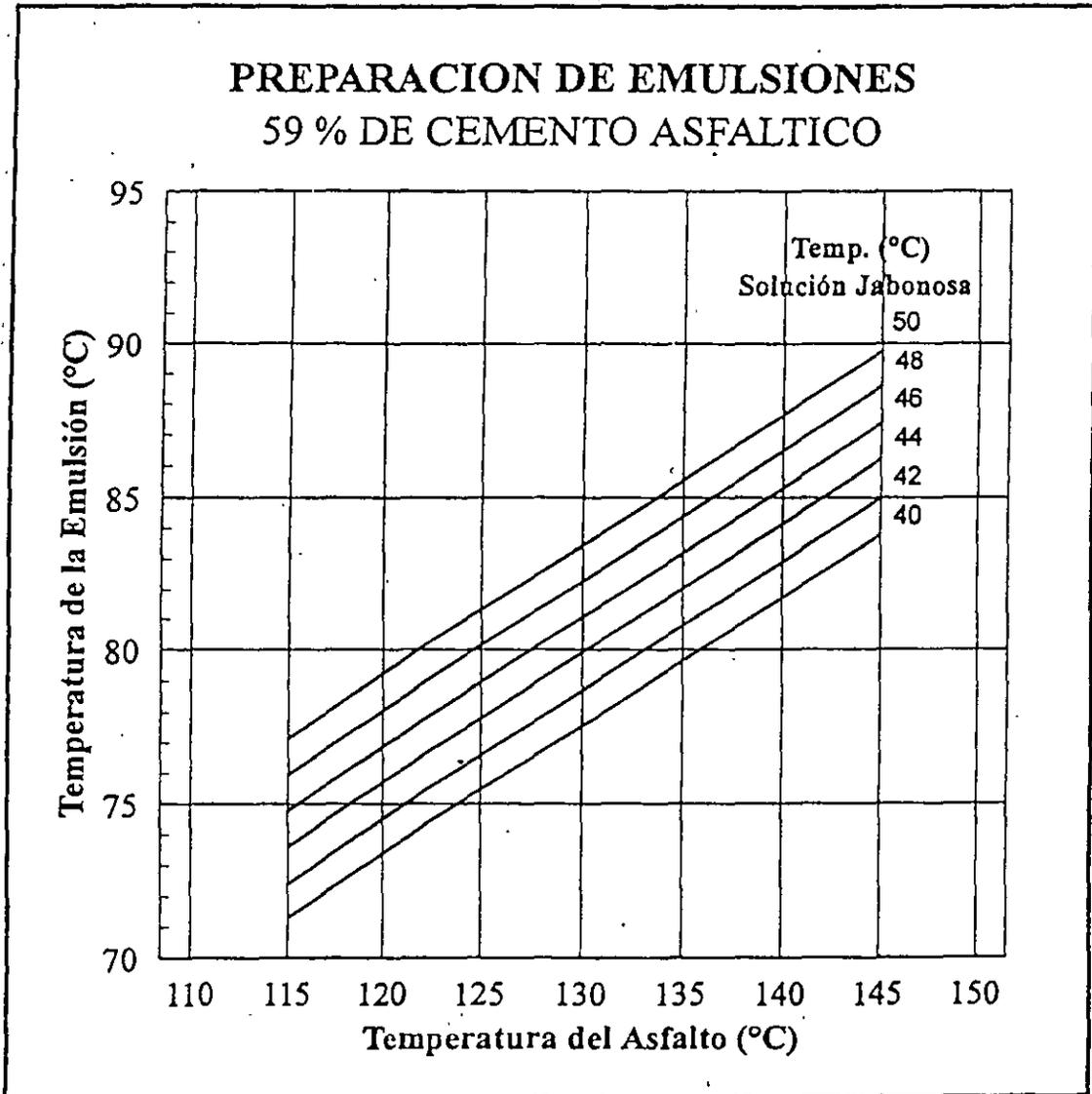


Figura 6.

PREPARACION DE EMULSIONES 60 % DE CEMENTO ASFALTICO

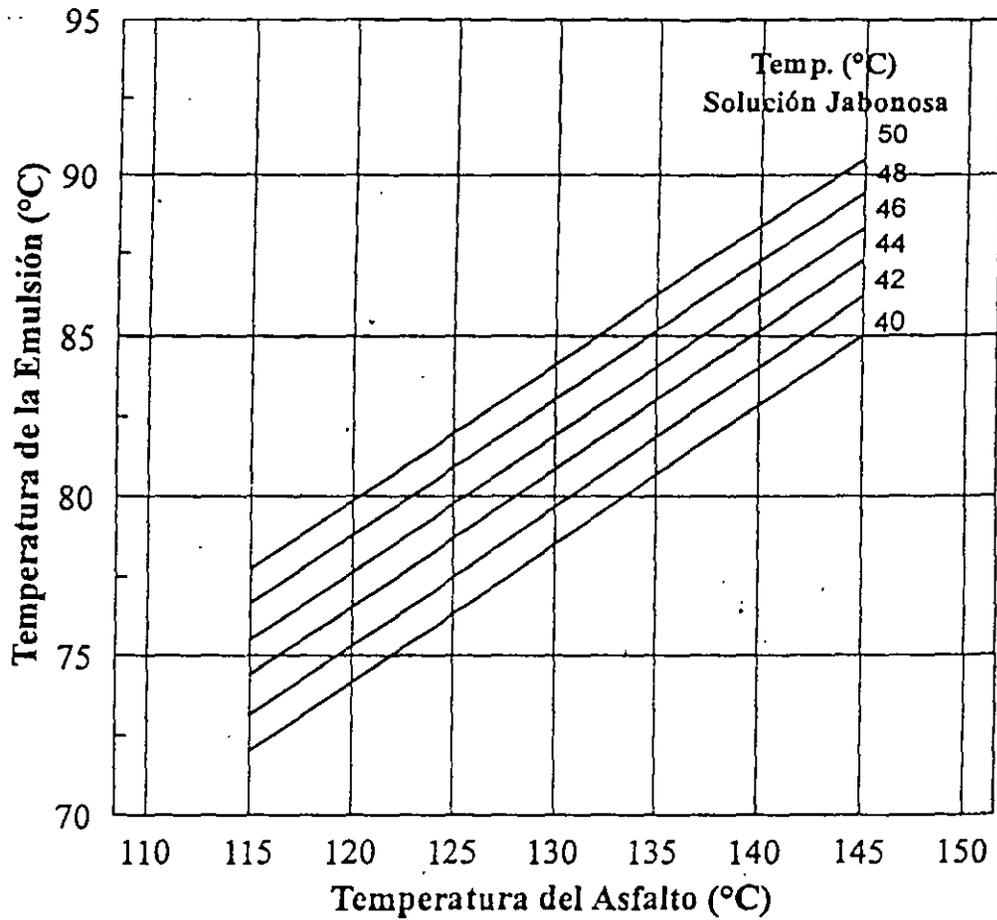


Figura 7.

PREPARACION DE EMULSIONES 61 % DE CEMENTO ASFALTICO

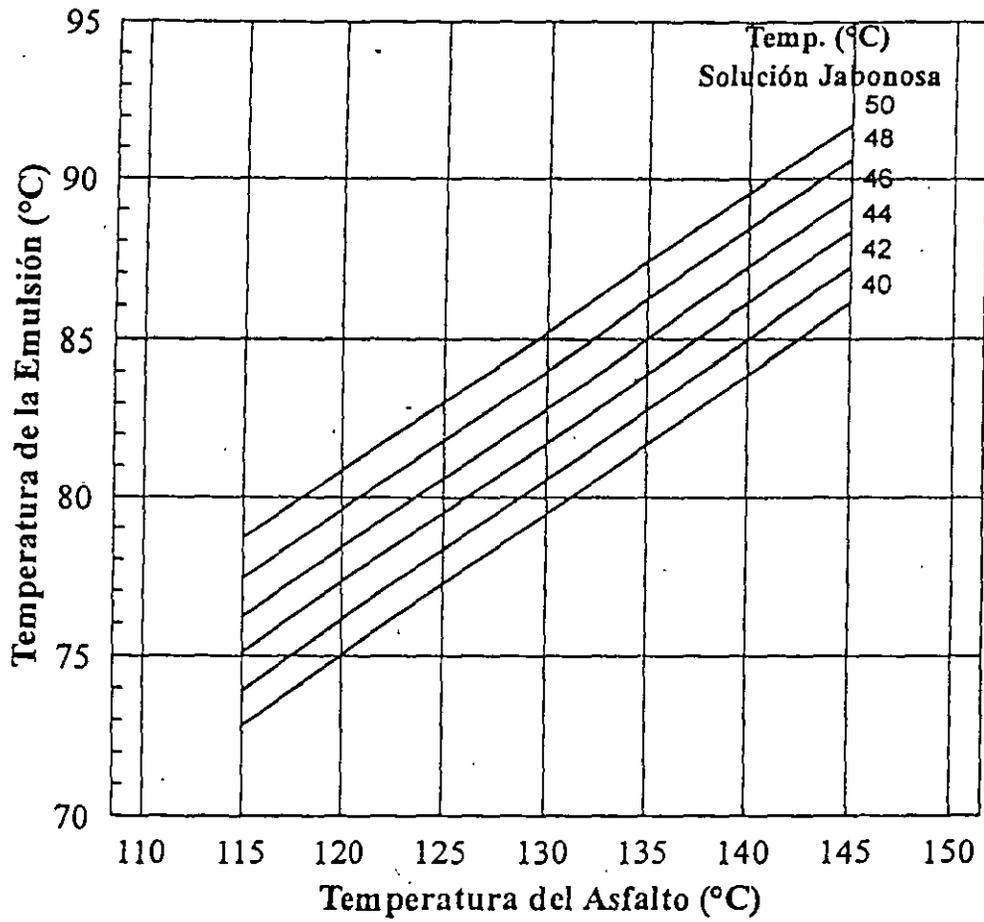


Figura 8.

PREPARACION DE EMULSIONES 62 % DE CEMENTO ASFALTICO

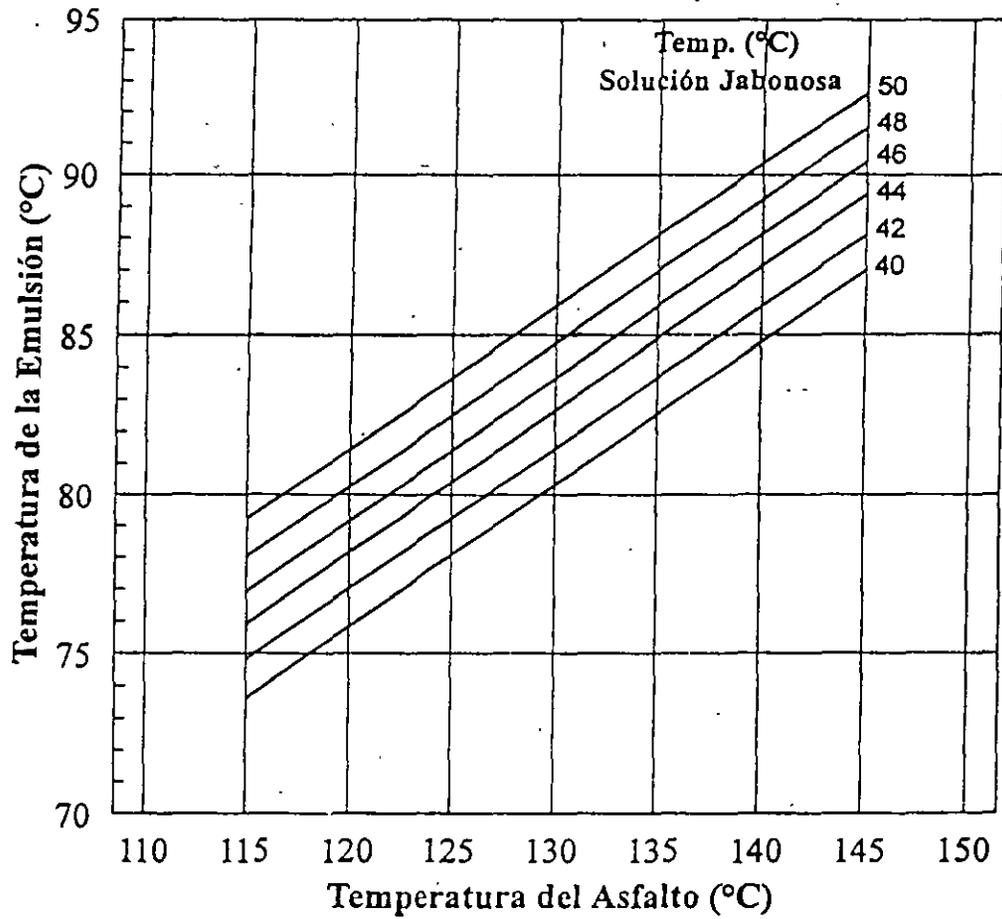


Figura 9.

PREPARACION DE EMULSION

63 % DE CEMENTO ASFALTICO

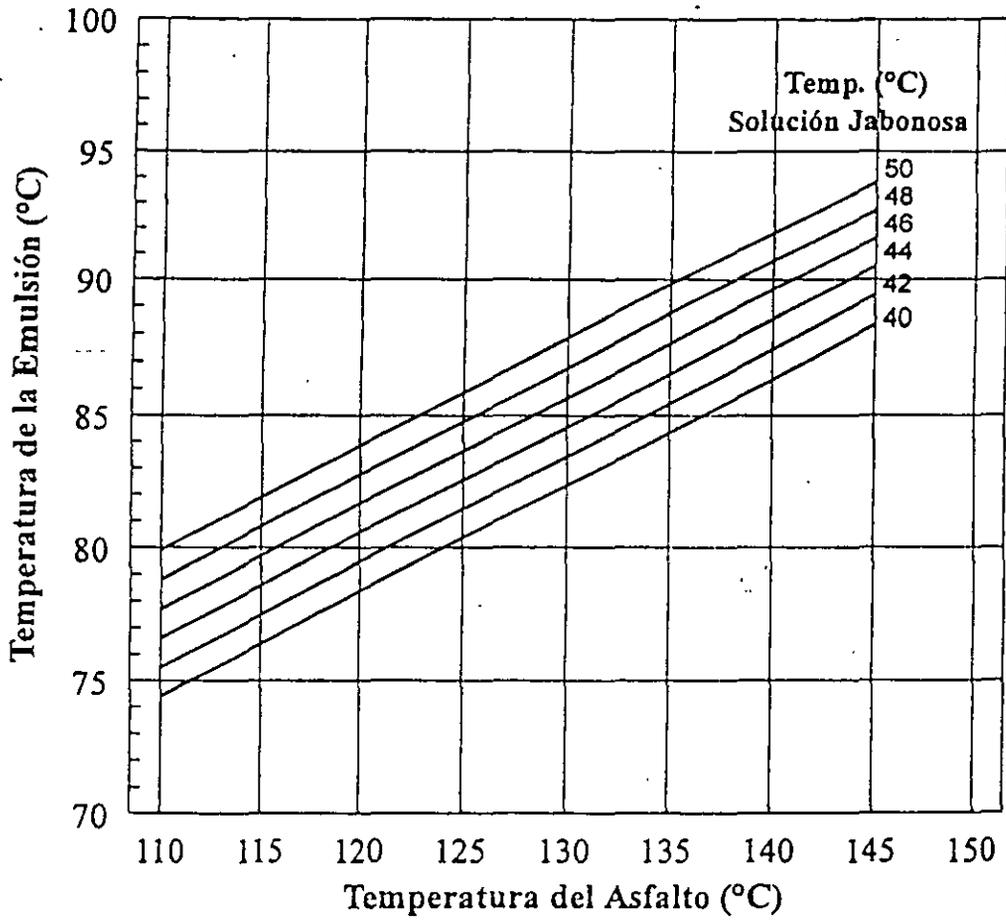


Figura 10.

PREPARACION DE EMULSIONES 64 % DE CEMENTO ASFALTICO

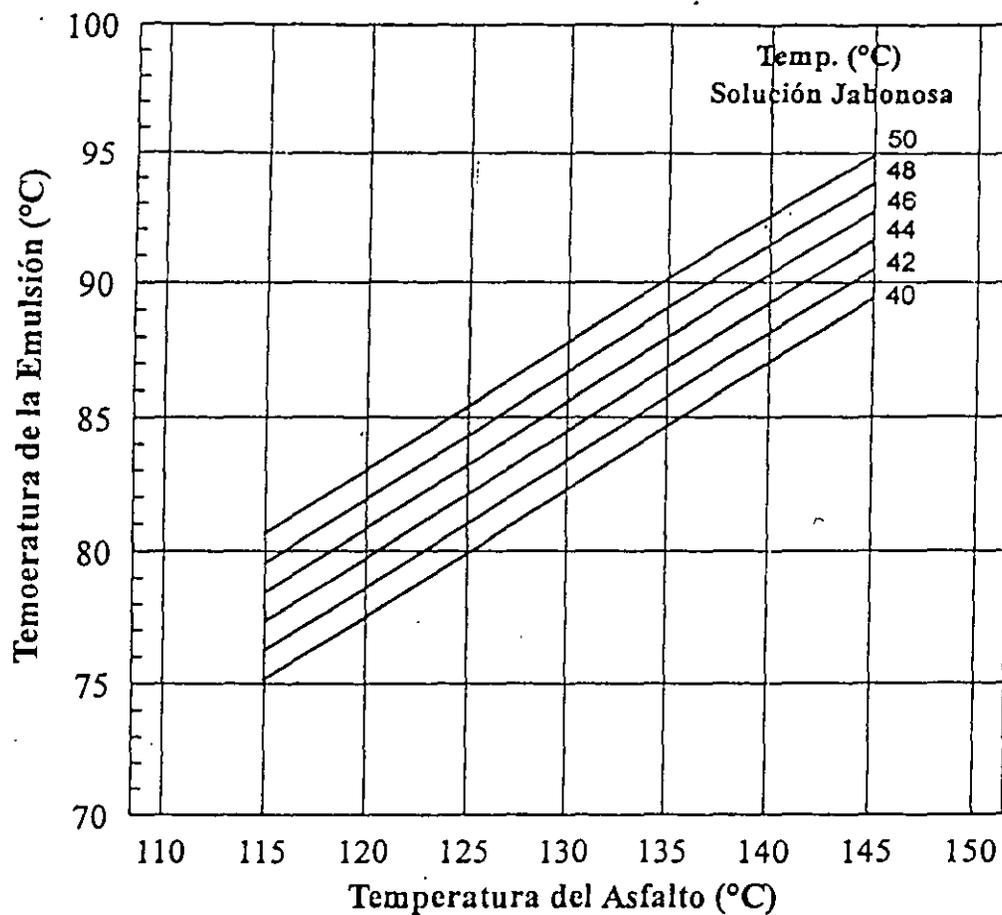


Figura 11.

**PREPARACION DE EMULSIONES
65 % DE CEMENTO ASFALTICO**

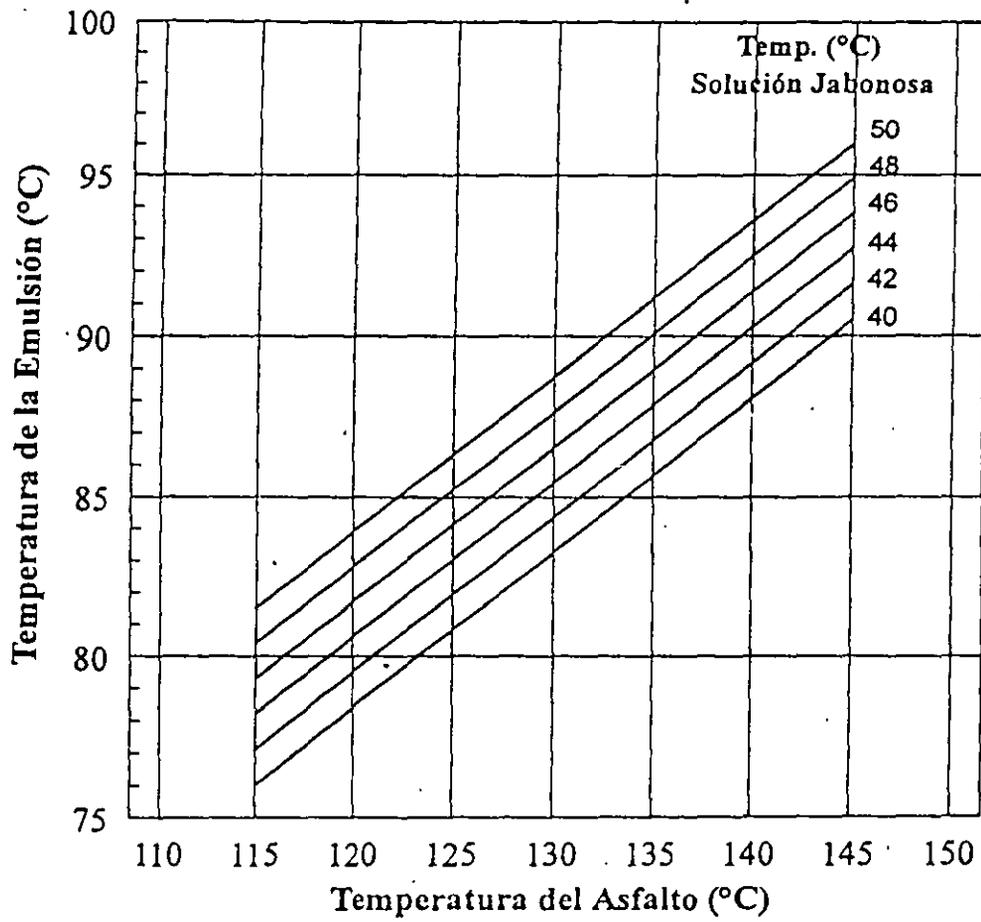


Figura 12.

PREPARACION DE EMULSIONES 66 % DE CEMENTO ASFALTICO

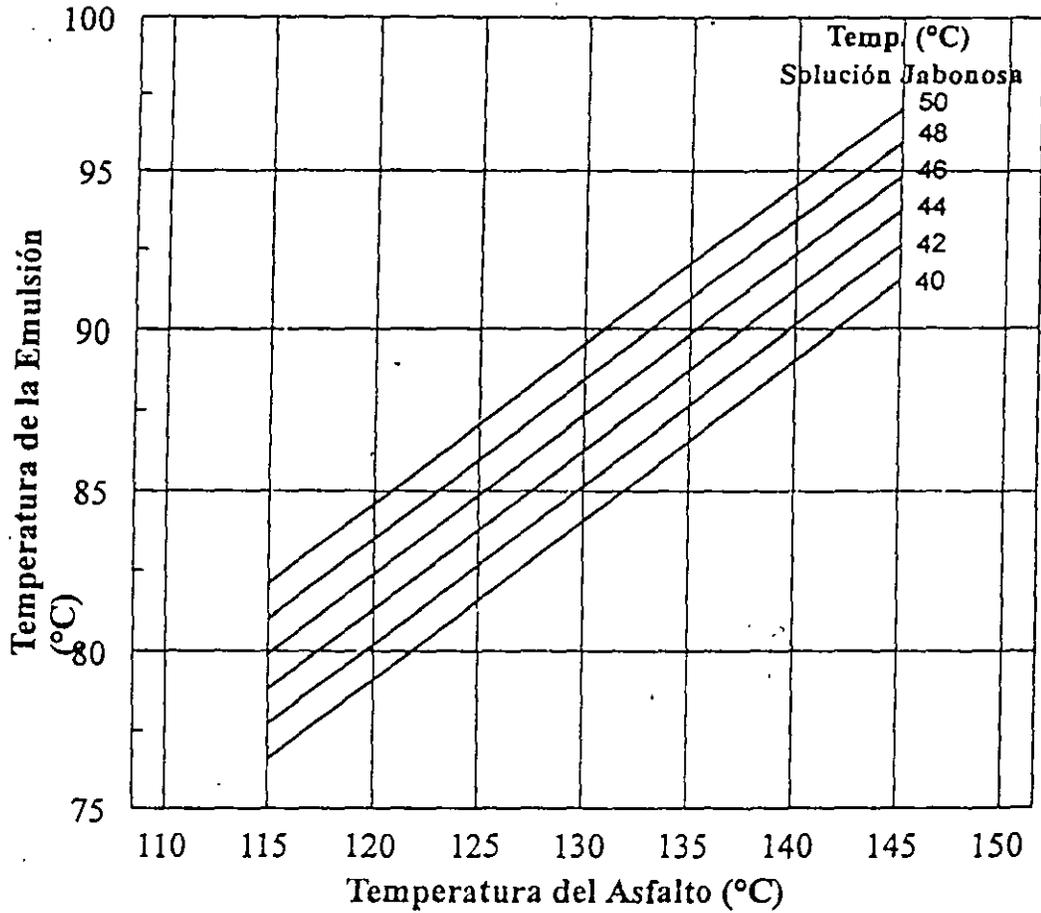


Figura 13.

PREPARACION DE EMULSIONES 67 % DE CEMENTO ASFALTICO

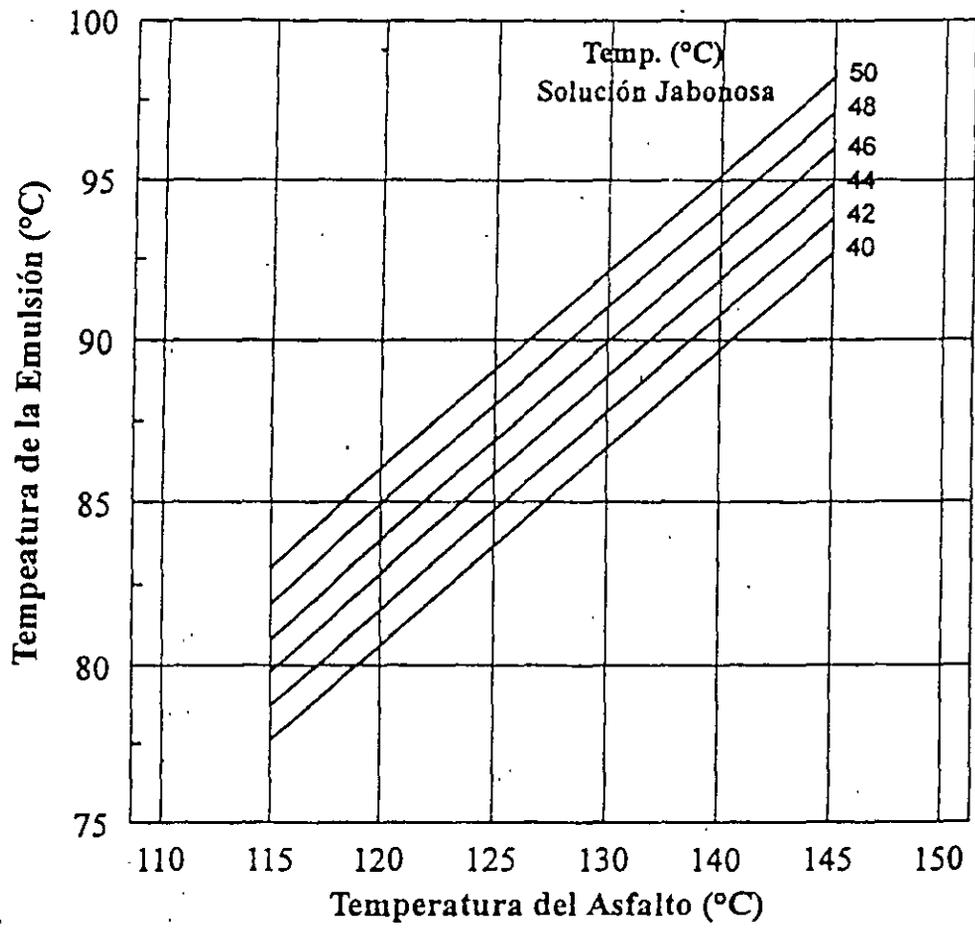


Figura 14.

En las tablas 3, 4 y 5 se menciona el equipo necesario que debe haber en una planta para la fabricación de emulsiones asfálticas, así como posibles contaminantes y circunstancias que deben evitarse para la obtención de una buena emulsión.

EQUIPO NECESARIO PARA UNA PLANTA DE EMULSION ASFALTICA				
Tanque de Asfalto	Tanque de la Solución Jabonosa	Tanque de Emulsión	Tanque del Emulsificante	Molino Coloidal
<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento (aceite) • Agitación • Recirculación • Aislamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento (vapor) • Agitación • Recirculación • Revestimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento (vapor baja presión) • Agitación baja (prevención de nata) • Aislamiento (emulsiones de alta viscosidad) • Enfriamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento (vapor baja presión) • Aislamiento • Agitación ó recirculación 	<ul style="list-style-type: none"> • Rotor/Estator • Válvula de presión positiva

Tabla 3.

CIRCUNSTANCIAS QUE DEBEN EVITARSE EN LA FABRICACION DE UNA EMULSION ASFALTICA	
Viscosidad baja	Sedimentación alta
<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiente cantidad de emulsificante • PH inadecuado o inestable • Emulsificante no completamente disuelto o ionizado • Presión insuficiente • Asfalto insuficiente o contaminado 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de descarga en la emulsión muy alta • Temperatura de la solución jabonosa o del asfalto incorrecta • Molienda excesiva o insuficiente • Contaminación por partículas extrañas • Calentamiento Localizado • Formación de nata • Contaminación

Tabla 4.

POSIBLES CAUSAS DE CONTAMINACION		
Asfalto	Solución jabonosa	Emulsión
<ul style="list-style-type: none"> • Solventes 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del emulsificante • Aniónica/Catiónica • Base/Ácido • Agua (Dureza, sales, aditivos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aniónica/catiónica • Diferentes viscosidades • Presencia de nata • Rompimiento prematuro de la emulsión

Tabla 5.

En las tablas 3, 4 y 5 se menciona el equipo necesario que debe haber en una planta para la fabricación de emulsiones asfálticas, así como posibles contaminantes y circunstancias que deben evitarse para la obtención de una buena emulsión.

EQUIPO NECESARIO PARA UNA PLANTA DE EMULSION ASFALTICA				
Tanque de Asfalto	Tanque de la Solución Jabonosa	Tanque de Emulsión	Tanque del Emulsificante	Molino Coloidal
<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento (aceite) • Agitación • Recirculación • Aislamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento (vapor) • Agitación • Recirculación • Revestimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento (vapor baja presión) • Agitación baja (prevención de nata) • Aislamiento (emulsiones de alta viscosidad) • Enfriamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento (vapor baja presión) • Aislamiento • Agitación ó recirculación 	<ul style="list-style-type: none"> • Rotor/Estator • Válvula de presión positiva

Tabla 3.

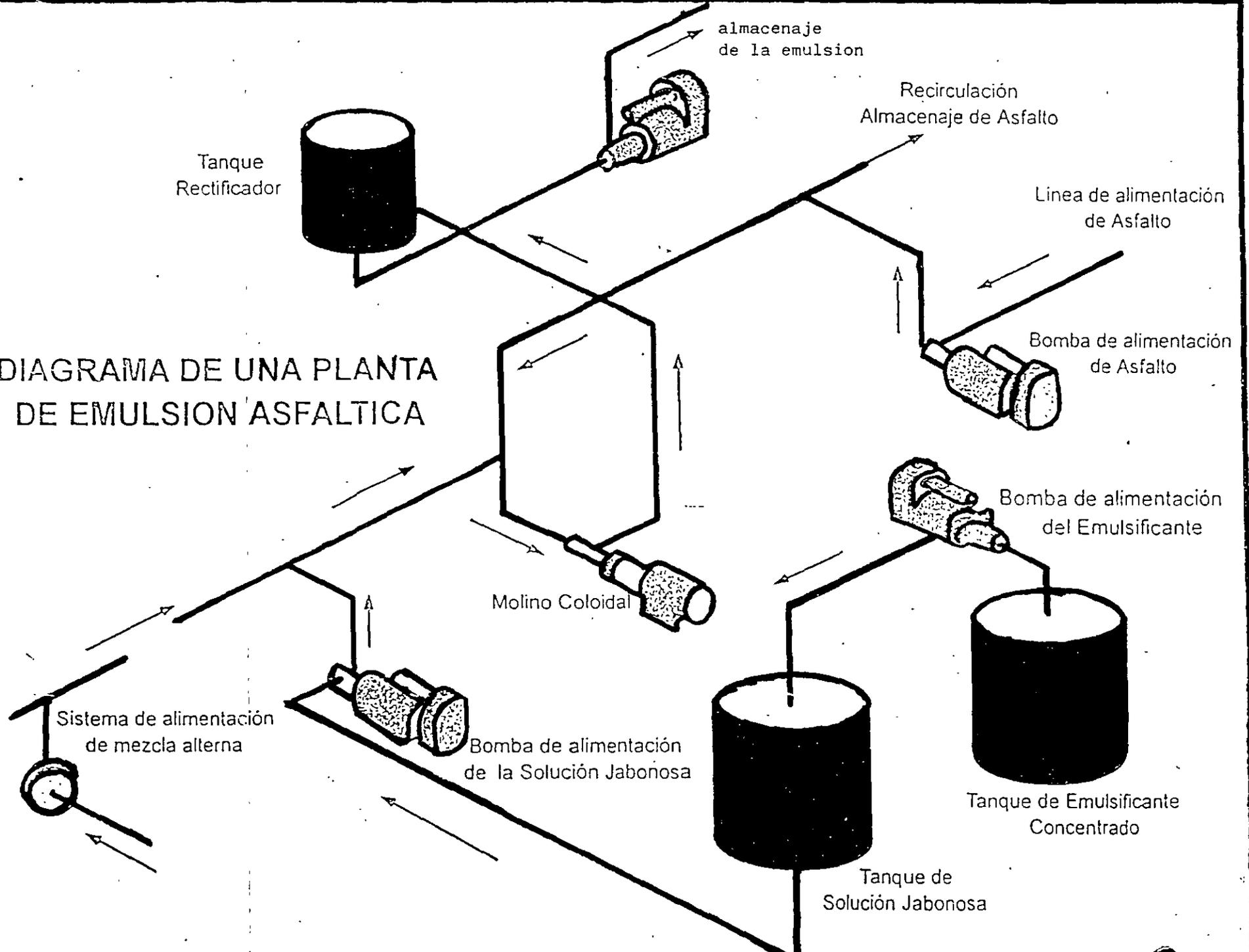
CIRCUNSTANCIAS QUE DEBEN EVITARSE EN LA FABRICACION DE UNA EMULSION ASFALTICA	
Viscosidad baja	Sedimentación alta
<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiente cantidad de emulsificante • PH inadecuado o inestable • Emulsificante no completamente disuelto o ionizado • Presión insuficiente • Asfalto insuficiente o contaminado 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de descarga en la emulsión muy alta • Temperatura de la solución jabonosa o del asfalto incorrecta • Molienda excesiva o insuficiente • Contaminación por partículas extrañas • Calentamiento Localizado • Formación de nata • Contaminación

Tabla 4.

POSIBLES CAUSAS DE CONTAMINACION		
Asfalto	Solución jabonosa	Emulsión
<ul style="list-style-type: none"> • Solventes 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del emulsificante • Aniónica/Catiónica • Base/Acido • Agua (Dureza, sales, aditivos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aniónica/catiónica • Diferentes viscosidades • Presencia de nata • Rompimiento prematuro de la emulsión

Tabla 5.

DIAGRAMA DE UNA PLANTA DE EMULSION ASFALTICA



3.1. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

- **Formación de Espuma.** Los emulsificantes utilizados originan formación de espuma en las emulsiones debido a su propia naturaleza, por lo que se recomienda no agitarlas violentamente ni verterlas en cascada. El transporte de las emulsiones debe efectuarse en pipas equipadas con rompeolas y el llenado de la pipa debe hacerse prolongando la tubería con una manguera flexible hasta unos 10 o 20 cm del fondo. En caso de ser necesario recircular la emulsión, se recomienda utilizar bombas herméticas con objeto de que no aspiren aire.
- **Natas y Sedimentos .** Durante el almacenamiento de la emulsión se forman natas en la superficie de la misma que protegen al resto de la emulsión. Es recomendable almacenar la emulsión en depósitos cilíndricos de eje vertical alimentados desde el fondo, con la intención de reducir el área superficial de dichas natas. Por otra parte, se forman sedimentos con el tiempo aumentando la viscosidad de la emulsión en la zona inferior del depósito, originándose decantación. Mientras no se produzca el rompimiento de la emulsión, este fenómeno puede hacerse reversible mediante la recirculación de la misma.
- **Mezclas incompatibles.** Deben evitarse las mezclas de emulsiones del tipo aniónico y catiónico ya que son incompatibles entre sí y coagularán por reacción electroquímica. Emulsiones catiónicas de diferentes tipos tampoco deben mezclarse, excepto en proporciones adecuadas y bajo ciertas condiciones.
- **Temperatura.** Las emulsiones conservan sus propiedades a temperaturas comprendidas entre 10 y 80 °C. Por debajo de los 5 °C pueden congelarse y romper. Por su parte, el calentamiento de la emulsión por encima de los 80 °C genera un aumento en la energía cinética de las moléculas y la evaporación del agua, disminuyendo la estabilidad de dicha emulsión.

4. APLICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

4.1 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

El término “Tratamientos Superficiales” comprende de manera general diversos tipos de aplicaciones del asfalto y del asfalto-pétreo, sobre cualquier clase de superficie vial que tenga un espesor menor a una pulgada (2.54 cm).

Los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de las superficies viales. sin embargo, no se consideran parte estructural del pavimento debido a que añaden poca capacidad de soporte. Normalmente no se toman en cuenta al calcular la carga límite de un pavimento.

Para producir tratamientos superficiales durables y de alta calidad, tanto la emulsión como el agregado deben cumplir normas establecidas de calidad.

El tratamiento superficial puede ser aplicado sobre una superficie vial granular o similar, o sobre un pavimento ya existente. Los tratamientos que se aplican al pavimento ya existente se denominan capas de sello. Los tratamientos superficiales pueden clasificarse de la siguiente manera:

Con agregado pétreo:

- Riego de gravilla
- Mortero asfáltico (Slurry Seal)
- Riego de sellado o sello de arena

Sin agregado pétreo:

- Riego de impregnación
- Riego antipolvo
- Riego de curado
- Riego de liga
- Riego negro

4.1.1. Uso de los Tratamientos Superficiales

Los tratamientos superficiales se utilizan básicamente para los siguientes propósitos:

- a) Formar una capa de protección impermeable para evitar la entrada de agua a las capas subyacentes.
- b) Suministrar una superficie de rodamiento antideslizante. Los agregados ásperos y duros proporcionan resistencia al deslizamiento.
- c) Dar nueva vida a superficies secas y envejecidas.
- d) Suministrar protección temporal a una base nueva.
- e) Proteger pavimentos viejos que se han deteriorado por la edad o por grietas de retracción o de fatiga, mientras se efectúa un mejoramiento permanente.
- f) Definir acotamientos para que no se confundan con carriles de circulación.
- g) Permitir la aplicación de franjas ruidosas para seguridad.

4.1.2. Procedimiento de Aplicación

- a) Verificar que los materiales empleados cumplan con las especificaciones de obra.
- b) Inspeccionar y calibrar todo el equipo de construcción.
- c) Asegurar la compatibilidad entre emulsión asfáltica y agregado. Seleccionar las características de rompimiento y viscosidad de la emulsión catiónica y utilizar material pétreo de tamaño adecuado libre de polvo, evitando la presencia de lascas en dicho agregado (debe tener forma lo más cúbica posible).
- d) Determinar la dosificación óptima de aplicación de la emulsión y la cantidad correcta de agregado por metro cuadrado.
- e) Limpiar la superficie a ser sellada previamente a la aplicación de la emulsión.
- f) Seleccionar el tipo y peso apropiados de compactadores.
- g) Trabajar en condiciones climáticas adecuadas.

4.2 RIEGO DE GRAVILLAS

El riego de gravillas es un tratamiento superficial comúnmente usado, el cual puede ser del tipo simple o doble.

Se define como tratamiento superficial simple a la aplicación de una película continua de ligante asfáltico sobre la superficie vial, seguida de la extensión y compactación de una sola capa de agregado.

Por su parte, el tratamiento superficial doble se define como la aplicación consecutiva de dos tratamientos superficiales simples, los cuales generalmente son de diferentes características.

En ambos casos el ligante asfáltico desempeña un papel muy importante para obtener una aplicación correcta, ya que es el vínculo de unión entre los mismos agregados y entre éstos y la capa subyacente.

La emulsión catiónica empleada debe cumplir las siguientes características:

- Buena adhesividad con todo tipo de agregados (calizos y silicosos).
- Fluidez suficiente que permita un buen esparcido sobre la superficie por parte de la petrolizadora y una fácil humectación de los materiales pétreos.
- Ruptura rápida que permita desarrollar cohesión con el material pétreo en el menor tiempo posible.
- Adecuada viscosidad en relación con el tamaño del agregado y con las características geométricas del trazado de la carretera para evitar escurrimientos.

En la mayoría de los casos de aplicación, el punto principal es el tiempo de ruptura de la emulsión. Existen diversos factores intrínsecos que inciden sobre dicho tiempo, como el tamaño de partícula del asfalto, pH, dosificación y naturaleza de emulsificante, etc.

Por otra parte, las condiciones climatológicas tiene marcada influencia sobre dicho tiempo de ruptura, aún cuando la emulsión es significativamente tolerante a estas condiciones, su rompimiento se afecta sensiblemente bajo condiciones extremas de frío y humedad.

La emulsión puede aplicarse a temperatura ambiente o con cierto grado de calentamiento (50-60° C) teniendo en este caso menos problemas de taponamiento de las espesas de la petrolizadora.

DOSIFICACIONES DE AGUA Y EMULSION A INCORPORAR EN PETROLIZADORA

RESIDUO ASFALTICO DE LA EMULSION	62%			66%			70%		
	20%	25%	30%	20%	25%	30%	20%	25%	30%
PORCENTAJE DE LA EMULSION DILUIDA.	20%	25%	30%	20%	25%	30%	20%	25%	30%
VOLUMEN DE PETROLIZADORA, LTS	LTS DE EMULSION A INCORPORAR EN LA PETROLIZADORA								
1000	322	403	484	303	378	455	280	357	428
1500	483	605	726	455	567	682	429	530	642
2000	644	806	908	606	756	909	571	714	850
2500	805	1008	1210	758	945	1130	714	893	1070
3000	966	1210	1452	909	1134	1364	857	1071	1284
3500	1127	1411	1694	1061	1323	1591	1000	1250	1498
4000	1288	1613	1936	1212	1512	1818	1143	1428	1712
4500	1449	1814	2178	1364	1701	2045	1286	1607	1926
5000	1600	2016	2420	1515	1890	2273	1429	1785	2140
5500	1771	2218	2661	1667	2079	2500	1571	1964	2354
6000	1932	2419	2903	1818	2268	2727	1714	2142	2568

NOTA: EL VOLUMEN DEL AGUA A INCORPORAR A LA PETROLIZADORA, SERA LA DIFERENCIA ENTRE LOS LITROS-
DE EMULSION QUE SE HAYAN DETERMINADO Y EL VOLUMEN DE LA PETROLIZADORA.

OBSERVACION: LAS CANTIDADES DE LTS. DE EMULSION ANOTADAS ESTAN CERRADAS A LA UNIDAD.

4.2.1. Condiciones de Aplicación

El equipo necesario para esta aplicación consta de una barredora mecánica o personal de limpieza, petrolizadora, camiones de volteo equipado con esparcidores y un compactador tipo plancha ligera o del tipo neumático (de preferencia).

4.2.2 Procedimiento para el Riego de Gravillas

1. Limpiar la superficie que se va a sellar.
2. Por medio de la petrolizadora regar la cantidad necesaria de la emulsión. Es muy importante una dosificación adecuada de ésta última, tomando en cuenta las condiciones de la carpeta. Los difusores de la petrolizadora deben estar limpios para asegurar un riego uniforme de emulsión.
3. Inmediatamente, por medio de los camiones de volteo y el mecanismo esparcidor, cubrir con las gravillas el riego de emulsión, dosificándolas de manera que quede una capa con el espesor adecuado permitiendo el perfecto cubrimiento de toda el área por sellar.

Es importante que el riego de las gravillas se efectúen en forma uniforme antes de que se produzca el rompimiento de la emulsión regada con la finalidad de asegurarse que las partículas de material pétreo tengan adecuada adherencia con ligante asfáltico, evitando su desprendimiento. Dicho rompimiento puede detectarse cuando la emulsión cambia de un color café a negro brillante.

4. La compactación debe también efectuarse inmediatamente después de la extensión del material pétreo para que éste y el ligante puedan terminar de adherirse convenientemente.

Para efectuar esta operación se recomiendan principalmente los compactadores del tipo neumático ya que no destruyen las partículas de material y se adaptan mejor a las irregularidades de la superficie por sellar, dando como resultado una mejor fijación del material sobre la misma.

4.2.3. Recomendaciones Generales

1. Se recomienda utilizar materiales pétreos libres de polvo para que cumpla con las especificaciones y tenga mejor adherencia con el asfalto. Otra opción es premezclarlo con emulsión antes de efectuar el riego.
2. Otra observación muy relacionada con el punto anterior es la de humedecer ligeramente el material pétreo con el fin de eliminar el polvo adherido a la gravilla. Una variante de esta opción es la de premezclar con emulsión dicho material pétreo antes de efectuar el riego de gravilla.

4.3. EMULSIONES ESPECIALES PARA RIEGO DE IMPREGANACION

El riego de impregnación es la aplicación de un asfalto fluidizado a la base granular de un pavimento que no ha sido tratado previamente, con la finalidad de obtener una superficie negra, de impermeabilidad uniforme, con mayor resistencia y sin la presencia de polvo o partículas minerales sueltas. Estas condiciones permiten extender adecuadamente las capas asfálticas superiores sin que exista un corrimiento de las mismas.

La impermeabilidad de la base impide la penetración de más humedad y evita que no se evapore el agua y no se pierda la compactación.

Para el riego de impregnación se utilizan asfaltos de baja viscosidad, propiedad que debe mantenerse durante cierto tiempo para que el asfalto pueda penetrar ligeramente por capilaridad.

Estas exigencias varían según el tipo de base a tratar. Las bases con alto contenido de suelo de grano fino, sobre todo si estos son arcillosos, presentan una cierta dificultad para impregnar.

La cantidad de ligante necesaria se suele fijar como la que es capaz de absorber la base en un periodo de 24 horas (0.8 –1.2 litros de asfalto por metro cuadrado). Después de este periodo, las zonas especialmente ricas en asfalto pueden cubrirse con arena o árido fino (poreo de arena) para absorber el exceso y las zonas especialmente porosas se tratan con un nuevo riego de impregnación.

Anteriormente en México y en muchos otros países la mayoría de las impregnaciones se efectuaban con rebajados asfálticos de fraguado medio y con emulsión asfáltica. Algunas impregnaciones se han realizado con asfalto modificado con solventes ligeros obteniendo malos resultados por la evaporación rápida del solvente, quedando el asfalto en la superficie de la base sin lograr el objetivo de la impregnación.

Cuando el asfalto se rompe en partículas minúsculas en un molino coloidal y se dispersa en agua por medio de un emulsificante, se convierte en una emulsión asfáltica. Las micelas o partículas de asfalto (de 3 a 8 micras de diámetro) permanecen uniformemente en suspensión hasta que se usa la emulsión para un propósito previsto.

El uso de la emulsión asfáltica para el riego de impregnación no ha tenido resultados aceptables, ya que las pequeñas partículas de asfalto deben ser capaces de penetrar los vacíos presentes en la base de la superficie granular. Si estos vacíos en la superficie son demasiado pequeños sirven como filtro y atrapan a las partículas de asfalto sobre la superficie formando una membrana superficial del mismo.

Por esta razón, las emulsiones asfálticas de cualquier tipo (aniónicas, catiónicas, rápidas, medias, lentas y superestables) no funcionan adecuadamente para esta aplicación.

Con el objetivo de lograr la impregnación con emulsiones, se ha tratado de emulsificar asfaltos utilizando solventes tipo FM-1 obteniendo resultados aceptables al aplicarse sobre bases abiertas, y no así sobre bases cerradas.

Algunos constructores al no penetrar la emulsión en la superficie, adicionan un poreo de arena con el propósito de que ésta absorba el asfalto residual:

Otra opción consiste en el “Riego a cielo abierto”, el cual, la base no se compacta totalmente y la emulsión logra impregnar.

Para obtener resultados aceptables al utilizar emulsiones en la impregnación, se propone modificar el estado original del asfalto (asfaltos típicos de penetración 80-100) con aditivos orgánicos para su posterior emulsificación. Esto no representa un aumento sustancial en el costo de la emulsión.

La función de este aditivo orgánico sobre el asfalto original es la de disminuir la viscosidad del mismo, reblandeciéndolo, logrando obtener en la molienda un tamaño de partícula mucho menor (décimas de micra) que el obtenido con el asfalto original (de 3 a 8 micras).

Con este tamaño de partícula mucho menor, se obtienen emulsiones que favorecen la penetración de las mismas en la base granular. Las partículas de asfalto que queden en la superficie formando la membrana de asfalto siguen impregnando debido a su viscosidad modificada hasta que son absorbidas por la base, obturando así los huecos y poros, logrando la impermeabilización en periodos de tiempo de aproximadamente 24 horas.

Este tipo de aditivos no se volatilizan ni separan del asfalto, logrando endurecer la capa asfáltica después de que se ha logrado la impregnación. Con este tipo de emulsiones se evita la contaminación ambiental causada por la evaporación de solventes orgánicos y se obtienen un ahorro energético al utilizar estos solventes en otras aplicaciones más útiles.

Cabe señalar que el riego de impregnación funciona solamente como una protección para la base granular, sin que esto signifique que después de aplicarlo quede lista una superficie de rodadura. Lo más conveniente es proteger la base ya sea con una carpeta asfáltica o con un riego de gravilla.

La formulación para este tipo de emulsiones depende principalmente del tipo de base a tratar, lo más recomendable es hacer pequeños tramos de prueba para lograr mejores resultados. Sin embargo, como punto de partida cuando se tenga una base arcillosa demasiado cerrada o abierta, se recomiendan las siguientes formulaciones:

Componentes	Bases Arcillosas Cerradas	Bases Granulares Abiertas
Asfalto, %	35	84
Aditivo, %	15	12
Agua, %	50	40
Asfier 208, %	0.6	0.6
PH (solución jabonosa)	1.6 – 1.8	1.6 – 1.8

Tabla 6.- Formulación de emulsiones asfálticas dependiendo del tipo de base.

En la tabla anterior se puede observar que la diferencia entre las dos formulaciones de emulsión es el contenido del aditivo, de esto se puede concluir que una base cerrada requiere mayor cantidad de aditivo que una base abierta.

En México se han impregnado gran cantidad de kilómetros, en diferentes tipos de bases con este tipo de emulsión obteniendo resultados muy favorables (penetraciones entre 3 y 6 mm).

4.3.1 Recomendaciones

1. Aplicar la emulsión a una temperatura entre 50 y 60°C.
2. La dosificación depende del tipo de base a tratar y debe determinarse experimentalmente haciendo ensayos previos. Generalmente en bases cerradas se dosifican de 1.0 a 1.2 litros por metro cuadrado y en bases abiertas de 1.4 a 1.8.
3. Para obtener mejores resultados de impregnación la emulsión debe de aplicarse entre las nueve y quince horas del día.
4. Las espreas de la petrolizadora deben de estar limpias para lograr una dosificación correcta y distribuida de la emulsión.
5. Es necesario limpiar (barrer) la superficie de la base. Si existe polvo en la misma. La emulsión puede reaccionar con éste dificultando la impregnación.

4.4 MORTERO ASFALTICO (SLURRY SEAL)

El mortero asfáltico es un tipo de tratamiento superficial que se emplea como capa de desgaste o de sello, por lo que no debe considerarse como parte estructural del pavimento: en otras palabras, es un mantenimiento preventivo no correctivo.

Un mortero asfáltico está compuesto por finos como el cemento o cal, el agregado, agua, emulsión y aditivo si se requiere. Estos materiales se mezclan en forma homogénea, dándole al mortero propiedades tixotrópicas con buena resistencia a la abrasión.

El mortero asfáltico se fabrica en el lugar de aplicación de forma rápida y precisa. El mezclado y extendido se realizan mediante una operación continua y el pavimento puede ser utilizado nuevamente en cuestión de algunas horas.

Con el transcurso del tiempo, la tecnología se ha ido perfeccionando tanto desde el punto de vista aplicación, como desde el punto de vista químico. Existen máquinas modernas que producen 1350 km²/min. de mortero asfáltico. Un equipo con capacidad de 8 m³ puede producir hasta 2000 m² de slurry seal en 15 minutos.

Para la fabricación del mortero asfáltico se emplean normalmente emulsiones catiónicas de rompimiento lento, controlado o superestables y materiales pétreos debidamente clasificados y uniformes.

En México, generalmente se han empleado emulsiones superestables para la aplicación de los morteros asfálticos, lo cual ocasiona tiempos largos en la apertura al tráfico, sobre todo cuando se emplea en días nublados o en época de invierno.

En la actualidad se requieren emulsiones que permitan un rompimiento controlado, de tal forma que la apertura al tráfico sea casi inmediata o en un tiempo máximo de 60 minutos contados a partir de que se tira la mezcla.

Un aspecto importante en el diseño del Slurry Seal es el tiempo que tarda en curar o fraguar, mismo parámetro que determina el tiempo en que la obra puede ser abierta al tráfico.

Actualmente, es muy común escuchar el término "Quick Set", lo cual se presta a ciertas confusiones tanto para los fabricantes de emulsiones como para los constructores. Esta definición se explica claramente en un boletín técnico de la ISSA para la medición de la cohesión. Este artículo muestra que el rompimiento puede ser menor de 30 minutos, pero el tiempo para abrir al tráfico puede prolongarse por varias horas. De lo anterior se definen los siguientes sistemas:

- **QUICK SET (Rompimiento Rápido).** El tiempo de rompimiento no es mayor a 30 minutos.

- **DIRECT QUICK TRAFFIC (Rompimiento Rápido – Tráfico Inmediato).** En 30 minutos a partir de que se tira la mezcla se desarrolla la cohesión necesaria para abrir al tráfico.
- **QUICK SET – QUICK TRAFFIC (Rompimiento Rápido – Tráfico Rápido).** En 60 minutos contados a partir de que se tira la mezcla se puede abrir al tráfico.
- **QUICK SET – SLOW TRAFFIC (Rompimiento Rápido).** El tiempo de rompimiento es menor a 30 minutos, pero el tiempo necesario para abrir al tráfico puede prolongarse hasta 3 horas.
- **SLOW SET – SLOW TRAFFIC (Rompimiento lento – Tráfico Lento).** El tiempo de rompimiento es mayor de 30 minutos y la apertura al tráfico se prolonga a más de 3 horas.
- **FALSE SET – SLOW TRAFFIC (Rompimiento Aparente – Tráfico Lento).** El último caso se presenta cuando hay un rompimiento aparentemente rápido pero la apertura al tráfico se prolonga demasiado.

Cuando se elabora slurry seal del tipo “Quick Set” normalmente la apertura al tráfico puede tardar de 30 minutos a una hora pero se requiere de equipo adecuado para realizar la aplicación y el uso de materiales pétreos compatibles con la emulsión asfáltica. En este caso el mecanismo de rompimiento no está bien definido, pero se considera que es una acción química en la que todos los componentes individuales repentinamente pierden sus cargas estáticas y se combinan espontáneamente.

Por su parte, el slurry seal del tipo “Slow Set” rompe por un mecanismo de expulsión del agua y fragua a medida que el agua se evapora. En días soleados, calurosos y con presencia de viento podrá abrirse al tráfico en un lapso de tiempo entre 3 y 4 horas. Si el día está frío, nublado o con humedad relativa alta dicho tiempo de apertura al tráfico puede demorar hasta 12 horas. Desde luego, este tipo de slurry no es adecuado para utilizarse durante la noche ni para trabajos en aeropuertos o donde tenga que abrirse rápidamente al tráfico.

4.4.1 Características y Usos de los Morteros Asfálticos

El deterioro por la aparición de grietas por contracción puede ser contrarrestado mediante un sellado a tiempo. Los morteros asfálticos se pueden aplicar sobre asfalto, concreto hidráulico y enladrillados. Como el mortero asfáltico es semilíquido es muy efectivo ya que no solamente penetra en las grietas del pavimento y las rellena, sino que deja una nueva superficie que protegerá la capa inferior de la intemperie.

La Asociación Internacional de Slurry Seal, reconoce tres tipos de agregados dependiendo de su distribución granulométrica (Tabla 7).

Tipo I. Material fino con tamaño máximo de 1/8", se usa para máxima penetración en las grietas y como preparación para mezcla en caliente o sello convencional. En áreas de poco tránsito también se utiliza como sello.

Tipo II. Tamaño máximo de 1/4 ", es el más utilizado para sellar, corrige defectos severos y aumenta la resistencia al derrape.

Tipo III. Agregado grueso con tamaño máximo de 3/8", corrige defectos severos de la superficie proporciona resistencia al derrape.

MALLA	TIPO I Fino	TIPO II General	TIPO III Grueso
1/2	100	100	100
3/8	100	100	100
No. 4	100	85-100	70-90
8	100	65-90	45-70
16	65-90	45-70	28-50
30	40-60	30-50	19-34
50	25-42	18-30	15-25
100	15-30	10-21	7-18
200	10-20	5-15	5-15
% Residuo Asfáltico	10-16	7.5-13.5	6.5-12
Agregado Seco Kg/m ²	2.2-5.4	5.4-8.1	8.1-13.6
Espesor Máximo Milímetros pulgadas	3.2 1/8	6.4-8 1/4-5/16	9.5-11 3/8-7/16

Tabla 7.- Granulometría del Slurry Seal.

4.4.2 Componentes del Slurry Seal

- **Materiales Pétreos.** Se ha utilizado grava triturada como calizas, granito, basalto, lava, y escoria de fundición entre otros.

Los agregados dependiendo de su carga superficial pueden llegar a desarrollar cohesión para abrir al tráfico en tiempos muy variados. Por lo tanto, podemos decir que el tipo de agregado así como la naturaleza química del emulsificante son de primordial importancia para que el mortero llegue a comportarse como un sistema "Quick Set – Quick Traffic".

- **Agua.** El agua se presenta en los morteros en tres formas diferentes, en la humedad del agregado, en el pre-mezclado y el agua de la emulsión.

El exceso de agua, además de derramar la mezcla, evitará el correcto cubrimiento del material por el asfalto y existirá el problema de mala adherencia.

El contenido óptimo de agua se determina mediante la prueba del cono (consistencia entre 2 y 3 cm).

- **Filler Mineral.** Generalmente se utiliza cemento portland o cal, con la siguiente finalidad:
 - a) Mejorar la granulometría (en caso de ausencia de finos).
 - b) Ayudar a la estabilidad.
 - c) Acelerar o retardar el rompimiento.

Experimentalmente se ha observado en el laboratorio, que con algunos agregados con los que no se utiliza filler el tiempo de mezcla con la emulsión no es suficiente para el tendido del mortero (23 minutos).

- **Emulsión Asfáltica.** El rompimiento y la estabilidad de la emulsión asfáltica dependen del tipo de emulsificante que se utilice, así como del contenido de cemento asfáltico. Normalmente las emulsiones para mortero asfáltico son aquellas que requieren mayor cantidad de emulsificante para su fabricación (del orden de 1.0 a 1.8%).

El contenido mínimo óptimo de cemento asfáltico en el mortero se calcula mediante el método de la prueba de abrasión en húmedo (WTAT) y el contenido máximo utilizando el método de la rueda cargada (LWT).

- **Temperatura.** Es preferible que la temperatura ambiental sea mayor de 13°C para que ayude a eliminar el agua de la mezcla.
- **Humedad Relativa.** Es preferible que sea menor de 70% para que el ambiente no esté muy saturado e impida la evaporación del agua de la mezcla. Es importante mencionar que mientras exista agua en la mezcla no se desarrolla cohesión, aun cuando haya roto la emulsión. Se puede ayudar a eliminar el agua con compactación neumática.

4.4.3 Ventajas del Slurry Seal sobre el Riego de Gravilla

1. No se desperdicia material.
2. No es necesario barrer para recuperar el exceso de grava.
3. Penetra en las grietas.
4. No hay proyección de piedras contra los vehículos.
5. No hay riesgo de derrape recién abierto el tráfico.

4.4.5. Prueba d Cohesión

Este método se utiliza para efectuar la medición del tiempo de rompimiento y curado de Slurry Seal.

Equipo

- Cohesiómetro modificado
- Material no absorbente
- Moldes de 6 y 8 mm con diámetro de 60 mm.
- Malla de ¼ y malla No. 4
- Material para calibración: Arena de Ottawa y lija para papel del No. 100 y No. 220

Procedimiento

Los agregados del tipo II y del tipo III se criban a través de las mallas No. 4 y de ¼ respectivamente; la porción que se retiene se descarta. Para el slurry del tipo II se utiliza el molde de 6 mm de espesor y para el tipo III el molde de 10 mm. Se debe tener cuidado de producir una superficie uniforme.

Las mediciones de cohesión se toman a intervalos de tiempo de 30, 60, 90, 150 y 270 minutos después del tiempo de rompimiento. La muestra se centra debajo del pie de

neopreno a una presión de 200 kPa y se compacta durante 5 segundos. El torquímetro se ajusta a cero y se gira uniformemente en una posición horizontal dentro de un arco entre 90 y 120 grados. Se anota la lectura y se limpia el pie de neopreno.

Calibración

El disco de hule se pule con la lija del No. 220 hasta que se repita una lectura constante entre 12 y 13. Después se prueban la arena de Ottawa contenida en un molde de 1 cm y la lija del No. 100 y se anotan las lecturas de calibración.

Resultados

Los resultados se registran a intervalos de tiempo apropiados (30, 60 min., etc) hasta que se establezca una tendencia. La gráfica mostrará una curva característica para el desarrollo de cohesión particular para cada sistema que se evalúa (Fig. 15).

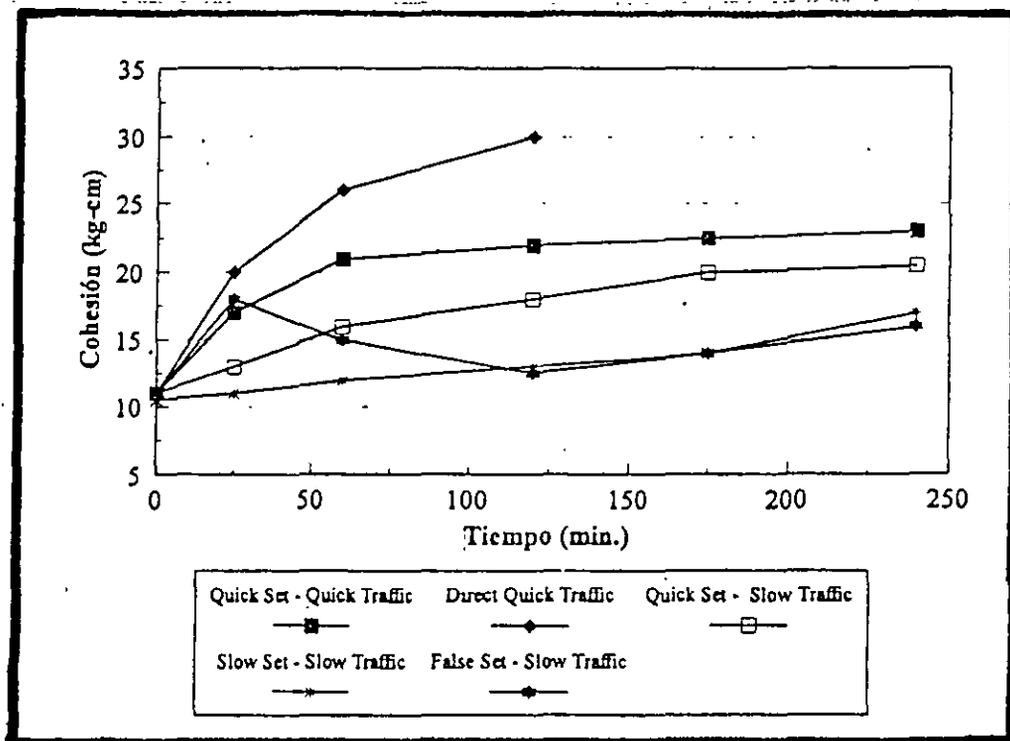


Figura 15.- Gráfica de Cohesión para diferentes sistemas de Quick Set.

Figura 15.- Gráfica de cohesión para diferentes sistemas Quick Set.
Tiempo de Rompimiento

Tiempo de Rompimiento

El tiempo de rompimiento se define en diferentes formas:

- Cuando un sistema de slurry ya no puede ser remezclado uniformemente.
- Cuando no se presentan desplazamientos laterales en la compactación.
- Cuando un papel absorbente no se mancha al presionarlo ligeramente en la superficie del slurry.
- Al lavar con agua no escurre la emulsión.

Apertura al Tráfico

Es cuando se tiene una lectura de cohesión entre 20 y 21 kg-cm

El Quick Set (rompimiento rápido) se define como un sistema de slurry en el cual la lectura de cohesión alcanza valores entre 12 y 13 kg-cm en un tiempo no mayor de 30 minutos.

El Quick Traffic (Apertura rápida al tráfico) se define como un sistema de slurry en el cual se alcanzan valores de cohesión entre 20 y 21 kg-cm en un tiempo no mayor de 60 minutos, incluyendo el tiempo de rompimiento.

5. MEZCLAS ASFALTICAS

Se conocen como mezclas asfálticas, aquellas mezclas que están constituidas por partículas minerales de material pétreo, las cuales están envueltas por una película continua del ligante. Actualmente constituyen un material ampliamente usado en la construcción de firmes flexibles.

A partir de la mezcla asfáltica se lleva a cabo la formación de la carpeta, que constituye principalmente la capa superficial del pavimento. También se utilizan en la instalación de sobrecarpetas y mezclas para bacheo entre otros.

Se denomina mezcla asfáltica en frío a la mezcla que puede manejarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente.

El uso de la emulsión asfáltica asegura una dosificación más uniforme del ligante respecto al material pétreo, mejor adhesividad y permite el uso de materiales de menor calidad respecto al material requerido para la mezcla en caliente.

Las mezclas asfálticas con emulsión pueden clasificarse en tres tipos:

- a) De textura cerrada, si los vacíos existentes entre el material pétreo están comprendidos entre el 3 y 6 % de la mezcla.
- b) De textura semicerrada, si los vacíos están comprendidos entre el 6 y 12%.
- c) Abiertas, si los espacios vacíos abarcan más del 12%.

5.1 MEZCLA EN EL LUGAR O PLATAFORMA

Este tipo de mezclas se elaboran en el lugar de aplicación, ya sea sobre el mismo camino o sobre una plataforma localizada a un costado de dicho camino. Normalmente la acción de dos motoconformadoras es la que lleva a cabo la mezcla de los pétreos y de la emulsión.

Para llevar a cabo este trabajo se requiere además de una petrolizadora, equipo de compactación y una barredora mecánica o personal de limpieza.

En México este sistema se emplea principalmente en el mantenimiento de carreteras. Sin embargo, no es el método más adecuado debido principalmente a los siguientes inconvenientes:

- Bajo nivel de producción de mezcla asfáltica. En condiciones óptimas se produce un máximo de 30 m³/h (300 m³ diarios).
- Uso de maquinaria y personal en cantidades considerables, incrementando el costo de la obra.
- Posibilidad de que la mezcla no quede homogénea debido a una mala distribución de la emulsión asfáltica o una mala operación de las motoconformadoras.
- Necesidad de contar con personal calificado para la operación de dichas motoconformadoras.

5.1.1 Elaboración y Aplicación de la Mezcla

1. Se inicia el proceso incorporando la humedad de mezclado necesaria al material pétreo por medio de una pipa. Es conveniente señalar que la humedad de mezclado en campo debe ser mayor respecto a la recomendada por el laboratorio.
2. Por medio de las motoconformadoras se homogeneiza el material pétreo y el agua de mezcla.
3. Una vez hecho esto, se procede a la incorporación de la emulsión asfáltica. La motoconformadora abre una cama en el camellón de material pétreo con el menor espesor posible para que la petrolizadora haga su primer riego de emulsión. En seguida debe pasar la segunda motoconformadora cubriendo la emulsión con material al mismo tiempo que lo revuelve, dejando una nueva cama para la siguiente aplicación.
4. Se repite la operación anterior. Es importante que la dosificación total de la emulsión se haga en el mayor número de pasadas posibles de la petrolizadora, ya que esto ayuda a tener mejor difusión del ligante.
5. Cuando se termina de agregar la emulsión, debe homogeneizarse la mezcla, efectuando el mezclado con las motoconformadoras.

5.1.2. Observaciones

1. No debe dejarse arrojada la emulsión asfáltica para proseguir el mezclado al día siguiente.
2. El camellón no deberá ser mayor de 250 m³.
3. En ocasiones las compañías contratistas solicitan al proveedor de la emulsión que incorpore su producto directamente de la pipa o autotanque al material pétreo, en este caso debe tenerse cuidado de que en cada pasada de la pipa el flujo de emulsión depositada sobre el material sea el menor posible y el número de pasadas sea el mayor posible.
4. La curva granulométrica del material pétreo para mezclas en el lugar debe cumplir con lo que indique el proyecto en cada caso.
5. Posterior al mezclado, la mezcla asfáltica se deja reposar para que adquiera su humedad óptima de compactación. Cuando se obtiene dicha humedad es necesario preparar la superficie a tratar barriéndola para que a continuación se efectúe sobre ella un riego de liga y entonces proceder al tendido de la mezcla.
6. La compactación se efectúa una vez que la mezcla ha sido tendida. Primero se utiliza el rodillo liso del Duo-pactor dando únicamente una cerrada, para continuar después con el equipo neumático, de preferencia el autopropulsado.
7. Debe procurarse tender la mezcla asfáltica en capas no mayores de 75 mm.
8. Las propiedades de mezclado, cubrimiento y manejabilidad de la mezcla asfáltica no deben tratar de mejorarse adicionando un exceso de agua. Estos factores dependen del tipo de emulsión empleada y de las características del material pétreo.
9. Las mezclas en el lugar siempre se efectúan con pétreos de textura cerrada. Debido a estas características se considera que son impermeables después de haber sido compactadas.

5.2 MEZCLAS EN PLANTAS ESTABILIZADORAS

Este sistema de mezclado es más eficaz y adecuado respecto al anterior. Con este tipo de plantas es factible producir 60 m³/h y las características de la mezcla serán más homogéneas.

Un aspecto práctico es colocar la planta estabilizadora en el lugar más cercano a donde se localice el banco de material.

Para el diseño de la mezcla asfáltica debe analizarse el material pétreo con el propósito de observar que cumpla con las especificaciones de diseño.

El equipo necesario para llevar a cabo este tipo de aplicación es el siguiente:

- Planta estabilizadora convencional.
- Un cargador frontal.
- Una pavimentadora o “finisher”.
- Un Duo-Pactor y equipo neumático de compactación.
- Barredora mecánica o personal de limpieza.
- Tanques de almacenamiento de emulsión.
- Petrolizadora.

Al principio de la operación se determina la humedad del pétreo en su estado natural por medio del laboratorio. Una vez hecho esto, dicho material se vuelca sobre la tolva de la planta estabilizadora utilizando un cargador frontal.

En caso de que el material pétreo no tenga la suficiente humedad para el mezclado, se le dosifica en la planta mediante una barra irrigadora colocada sobre la banda transportadora del material antes de llegar a la caja mezcladora.

Una práctica común de los constructores es habilitar una rampa para descargar los camiones de volteo sobre la tolva de la planta. Esta debe contar con una bomba volumétrica alimentadora de emulsión con el objeto de calibrar la máquina de acuerdo con el flujo de material pétreo.

Cuando se trata de una mezcladora continua, es necesario cuidar de cerca la dosificación de la emulsión, ya que el volumen de flujo de material pétreo varía según la humedad que contenga.

Un buen mezclado depende de la posición, desgaste y velocidad de las paletas mezcladoras. Es recomendable almacenar la mezcla sobre una plantilla previamente preparada para evitar posibles contaminaciones al momento de cargar los camiones de volteo.

El funcionamiento óptimo de una planta estabilizadora se cumple de acuerdo a los siguientes puntos:

- Determinación del material pétreo alimentado.
- Determinación y dosificación del agua de mezclado.
- Dosificación de la emulsión asfáltica de acuerdo a la cantidad de agregado.

5.2.1. Procedimiento de Fabricación

1. El material pétreo se recibe en una tolva.
2. El material pétreo se pasa de la tolva, a través de los dosificadores, a una banda transportadora, la cual descarga en el mezclador de paletas.
3. La emulsión asfáltica es bombeada del almacenamiento al mezclador de paletas a través de una tubería.
4. La emulsión asfáltica es distribuida en el mezclador de paletas por medio de una barra.
5. El consumo de emulsión es controlable y por tanto el residuo asfáltico en la mezcla no varía.

5.2.2. Observaciones

1. Es importante procurar que la velocidad de rompimiento de la emulsión sea el adecuado para no disminuir el rendimiento de la máquina.
2. Es importante incorporar a la planta una bomba adicional para la incorporación de la humedad de mezclado al material pétreo.

5.3 METODO DE DISEÑO PARA MEZCLAS ASFALTICAS

El siguiente método funciona de manera práctica para el diseño general de una mezcla de material pétreo con emulsión. El material pétreo puede ser cualquiera que cumpla con la granulometría adecuada para la obra en cuestión.

El primer paso a realizar es conocer todas las características del material pétreo:

- Identificación petrográfica
- Peso volumétrico seco suelto.
- Granulometría
- Porcentaje de absorción.
- Equivalente de arena

Una vez que se tienen estos datos se procede a determinar el tipo de emulsión más adecuada.

Dentro de las emulsiones catiónicas se pueden tener formulaciones que van desde 0.4 hasta 1.2% de emulsificante por tonelada de emulsión, y con un pH de 1.8 hasta 2.5. Todas estas variantes pueden aplicarse para el diseño de la emulsión más apropiada.

El procedimiento general que se presenta a continuación para diseñar la emulsión adecuada para una mezcla asfáltica, está basado en la ecuación del Instituto de Asfalto para determinar el porcentaje óptimo teórico de residuo asfáltico para la mezcla.

PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE UNA EMULSION PARA MEZCLAS ASFALTICAS

1. Homogeneizar la muestra de material pétreo (cuarteo).
2. Realizar el análisis granulométrico del material.
 - a) Tamizado en seco.
 - b) Tamizado en húmedo. Se lava el material sobre una malla No. 200 y se deja secar al aire.
3. Determinar el Porcentaje de Absorción y la Densidad.
 - a) Pasar aproximadamente entre 100 y 200 g de material pétreo, pasado por la malla de $\frac{1}{2}$ " y retenido en la malla de $\frac{1}{4}$ ".
 - b) Depositar el material en un vaso de precipitado con 700 ml de agua y dejar reposar durante 24 horas.
 - c) Secar el material y quitar el exceso de agua con una franela.
 - d) Pasar el material húmedo a una probeta con un volumen conocido de agua y observar el cambio de volumen.
 - e) Sacar el material, secarlo y pesarlo.

$\% \text{ Absorción} = (\text{Peso material húmedo} - \text{Peso material seco}) / \text{Peso material seco}$

$\text{Densidad (g/ml)} = \text{Peso material seco} / \text{Cambio de volumen}$
4. Determinar el peso volumétrico seco suelto (kg/m³).
5. Determinar la humedad natural del material.
 - a) Pesar de 100 a 200 g de material (A) en una cápsula de porcelana.
 - b) Colocar la cápsula en un horno a 110°-115° C durante una hora.
 - c) Enfriar el material en desecador químico.
 - d) Una vez frío pesarlo (B).

$$\% \text{ Humedad natural} = (A-B) (100) / A$$

6. Gráfica de clasificación (Abierta / Semicerrada / Cerrada).

7. Calcular el equivalente de arena

- a) Pasar de 100-110 g de material previamente tamizado por la malla No. 4.
- b) En la probeta de análisis adicionar 4 pulgadas de solución de trabajo (solución acuosa de cloruro de calcio, glicerina y formaldehído).
- c) Adicionar el material a la probeta.
- d) Golpear el fondo de la probeta con la mano para desalojar el aire atrapado.
- e) Dejar reposar el sistema durante 10 minutos.
- f) Tapar la probeta y agitar en forma horizontal durante 30 seg. a velocidad de 90 ciclos por minuto.
- g) Lavar las paredes con solución de trabajo hasta completar las 15 pulgadas de volumen.
- h) Dejar reposar el sistema durante 20 minutos.
- i) Tomar la lectura superior de la arcilla (H-1).
- j) Tomar la lectura superior de la arena (H-2).

$$\% \text{Equiv. De arena} = (H-2) (100) / (H-1)$$

Esta prueba proporciona una idea de la actividad del material pétreo. De aquí se puede seleccionar de manera preliminar el tipo de emulsión a ser utilizada:

	Equivalente de arena	Tipo de Emulsión
Para mezclas	45-80	Emulsión superestable
	75-100	Emulsión media o lenta
Para mortero	50-90	Emulsión superestable

8. Determinación del porcentaje teórico de asfalto (P).

$$\% \text{ Teórico de Asfalto} = 0.32A + 0.045B + CD + K$$

A = % retenido en malla no. 10 (100 - % que pasa).

B = % que pasa malla no. 10 - % que pasa malla no. 200

C = % que pasa la malla no. 200

D = % Valor que depende del % que pasa la malla no. 200.

0.20 (de 11 a 15 % que pasa la malla no. 200)

0.18 (de 6 a 10% que pasa la malla no. 200)

0.15 (menos de 5% que pasa la malla no. 200)

K = 2 (Para material volcánico, poroso, de alta absorción o que está dentro de la zona 2 o mezcla cerrada. Ver gráfica de tamizado).

K = 1.2 (Para material en mezcla semi-cerrada).

K = 0.7 (Para material en mezcla abierta o en zona 1)

9. Contenido de cemento asfáltico en la emulsión (% C.A.)
10. Determinar el volumen de emulsión (litros emulsión / m ³ material). Volumen de emulsión = (P.V.S.S. * 5%) (Densidad de la emulsión * 100) Densidad de la emulsión = 6 kg/litro aproximadamente
11. Con la humedad natural de material y el porcentaje de absorción, fijar un porcentaje de humedad de premezclado para 500 g de material, basado en el porcentaje retenido, para lograr una mezcla representativa.
12. Evaluar el cubrimiento y manejabilidad de las mezclas con diferentes porcentajes de humedad de premezcla, manteniendo constante el porcentaje de asfalto.
13. Encontrado el porcentaje adecuado de humedad de premezcla, disminuir o aumentar el porcentaje de asfalto para encontrar el porcentaje adecuado para un buen cubrimiento (no mayor a 6.5%).
14. Repetir las mejores mezclas a las mismas condiciones utilizando 1200 g de material, para realizar el análisis de estabilidad con el método Marshall modificado.

d.1 EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS

CARACTERÍSTICAS	GRADO				
	ROMPIMIENTO RAPIDO PR-1	RR-2	ROMPIMIENTO MEDIO RM-2	RL-1	ROMPIMIENTO LENTO RL-2
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL A 25°C SEGUNDOS	20-100		100 MIN.	20-100	20-100
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL A 50°C SEGUNDOS		75-400			
RESIDUO DE LA DESTILACION POR CIENTO EN PESO, MIN.	57	62	62	57	57
ASENTAMIENTO EN 5 DIAS DIFERENCIA EN POR CIENTO MAXIMO	3	3	3	3	3
DESULSIBILIDAD					
35 ML DE 0.02 N CaCl ₂ POR CIENTO MINIMO	60	50			
50 ML DE 0.10 N CaCl ₂ POR CIENTO MAXIMO			30		
RETENIDO, EN LA MALLA NUM. 20 POR CIENTO MAXIMO	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
MISCIBILIDAD CON CEMENTO PORTLAND, POR CIENTO MAXIMO				2.0	2.0
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
PENETRACION 25° C. 100 G 5 SEGUNDOS, GRADOS	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
SOLUBILIDAD SE TETRA-CLORURO DE CARBONO, POR CIENTO MINIMO	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
DUCTIBILIDAD 25°C CM MINIMO	40	40	40	40	40

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

d.2 EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS

GRADO						
CARACTERISTICAS	ROMPIMIENTO RAPIDO RR-2k	RR-3k	ROMPIMIENTO MEDIO RM-2k	RM-3k	ROMPIMIENTO LENTO RL-2k	RL-3k
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO						
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL A 25°C SEGUNDOS					20-100	20-100
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL A 50°C SEGUNDOS	20-100	100-400	50-500	50-500		
RESIDUO DE LA DESTILACION POR CIENTO EN PESO, MIN.	60	65	60	65	97 57	
ASENTAMIENTO EN 5 DIAS DIFERENCIA EN POR CIENTO MAXIMO	5	5	5	5	5	
CUBRIMIENTO DEL AGREGADO (EN CONDICIONES DE TRABAJO) PRUEBA DE RESITENCIAL AGUA:	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	
AGREGADO SECO. POR CIENTO DE CUBRIMIENTO, MINIMO			80	80		
AGREGADO HUMEDO, POR CIENTO DE CUBRIMIENTO, MINIMO			60	60		
MISCIBILIDAD CON CEMENTO PORTLAND, POR CIENTO MAXIMO					2	
CARGA DE LA PARTICULA	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA		
PH MAXIMO DISOLVENTE EN VOLUMEN, POR CIENTO MAXIMO	3	3	20	12	6.7	

RECOMENDACIONES

BASE

- A) *Definición.* Capa de materiales seleccionados que se construye sobre la sub-base y ocasionalmente sobre la sub-rasante, limitada en su parte superior por la carpeta.
- B) *Función.* Soportar apropiadamente las cargas transmitidas por los vehículos a través de la carpeta y distribuir los esfuerzos a la sub-base o capa sub-rasante, en tal forma que no les produzca deformaciones perjudiciales.

CARPETA ASFALTICA

- A) *Definición.* Capa o conjunto de capas que se colocan sobre la base, constituidas por material pétreo y un producto asfáltico.
- B) *Función.* Proporcionar al tránsito una superficie estable, prácticamente impermeable, uniforme y de textura apropiada. Cuando se coloca en espesores de cinco (5) centímetros o más, se considera que contribuyen junto con la base, a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos.

SOBRECARPETA

- A) *Definición.* Carpeta que se coloca sobre un pavimento deteriorado por el uso.
- B) *Funciones.*
 - 1. Restituir las características adecuadas de servicio que tuvo el camino cuando fue originalmente terminado.
 - 2. Aumentar la resistencia estructural de pavimento.

RIEGO DE SELLO

- A) *Definición.* Capa de material pétreo, ligada a la carpeta por un producto asfáltico.
- B) *Funciones.*
 - 1. Impermeabilizar el pavimento.
 - 2. Proporcionar una superficie de desgaste.
 - 3. Proporcionar una superficie antiderrapante.
 - 4. Proporcionar una superficie con un color tal, que refleje apropiadamente la luz de los faros de los vehículos.

RENIVELACION

- A) *Definición.* Conjunto de operaciones requeridas para reponer al nivel original la porción de la superficie de rodamiento que ha sufrido alguna deformación y/o desplazamiento.
- B) *Generalidades.* Los trabajos de renivelación pueden considerarse como conservación normal o como reconstrucción, según excedan o no en volumen de doscientos (200) metros cúbicos de mezcla asfáltica por kilómetro.

RIEGO DE SELLO

- A) Los casos en los que se recomienda el riego de sello son los siguientes:
1. Cuando se requiera proporcionar una superficie de desgaste a una carpeta.
 2. Cuando la carpeta existente esté agrietada y/o tenga textura muy abierta, para evitar que se introduzca agua y especialmente que ésta llegue a la base.
 3. Dar rugosidad a la superficie para hacerla antiderrapante.
 4. Reavivar el asfalto de una carpeta expuesta a la acción de la interperie.
 5. Proteger la carpeta cuando se inicia el proceso de desgranamiento y/o desgaste superficial.
 6. Obtener en la superficie de rodamiento un color adecuado para mayor visibilidad nocturna.
- B) Los casos en los que no deberá recurrirse al riego de sello, por no ser la solución adecuada, son los siguientes:
1. Cubrir defectos de construcción que, en primer lugar no debieron haberse tolerado y cuya solución no sea el riego de sello. Este es el caso, por ejemplo, de carpeta con exceso de asfalto o disolventes, mala granulometría del material u otros.
 2. Tratar de corregir deformaciones o agrietamientos ocasionados por defectos de las capas inferiores a la carpeta y/o del drenaje o sub-drenaje.
 3. Tratar de corregir desplazamientos del material debidos a la inestabilidad de las mezclas asfálticas o riegos de liga deficientes.

GENERALIDADES

- A) Cuando se ejecute un riego de sello con asfaltos rebajados, el material pétreo deberá estar, de preferencia, seco. Cuando contenga agua libre, producto de lluvias o del banco, pero sin sobrepasar el porcentaje de absorción de las partículas y no sea práctico o económico eliminarla, podrá efectuarse el riego de sello añadiendo un aditivo al asfalto rebajado, o bien empleando emulsión. El porcentaje máximo admisible de humedad en el material pétreo, así como el tipo y porcentaje de aditivo a usar, serán los indicados por el laboratorio.