

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA  
ESCUELA DE CONSTRUCCION CIVIL



“USO DE EMULSIONES EN PAVIMENTOS ASFALTICOS;  
ASFALTOS CALIENTES Y FRIOS”

Tesis de Grado para optar al  
Titulo de Constructor Civil.

Profesor Patrocinante:  
Sr Adolfo Montiel Mancilla.

HECTOR EDGARDO IBAÑEZ AGUILERA  
VALDIVIA – CHILE

2003

Dedicado a:

Mis padres Amelia y Osvaldo

que los quiero mucho,

gracias por su incondicional apoyo y amor que

me entregan cada día y por estar siempre

ahí cuando los necesito, por los desvelos

y dedicación les doy las gracias

A mis hermanos

Verónica, Osvaldo y

en especial a mi hermana Alejandra

gracias hermanos

A ti Beatriz  
por todo el amor y paciencia  
que me entregas cada día.  
Por esas palabras de aliento y  
Comprensión  
Gracias  
Te quiero mucho

A mis amigos:

Marco, Jorge Gabriela, Claudia,  
Félix, Cristian, Mauricio, Beatriz N. y Erwin,

Por todo el apoyo recibido de su parte y

En especial por su amistad

## INDICE

### PARTE I EMULSIONES ASFALTICAS

Capitulo I	1
1.- Emulsiones	1
1.1.- Descripción general	1
1.2.- Tipos de Emulsión	5
1.3.- Fabricación de las Emulsiones	10
1.4.- Pruebas a Emulsiones Asfálticas	11
1.5.- Emulsiones modificadas con Polímeros	35

### PARTE II ASFALTOS CALIENTES Y FRIOS

Capitulo II	37
2.- Diseño de la Mezcla	37
2.1.- Descripción	37
2.2.- Cemento Asfáltico	39
2.3.- Los Agregados Pétreos	46
2.4.- Polvo Mineral (Filler)	58
2.5.- Propiedades Superficiales	59
2.6.- Propiedades Deseables de una Mezcla Asfáltica	69
2.7.- Densidad de la Mezcla de Asfalto	70
2.8.- Diseño de las Mezclas	71
2.8.- Método Marshall	72
2.9.- Método Hveem	84
2.10.- Metodo SUPERPAVE	97

Capitulo III	122
3.- Plantas Asfálticas	122
3.1.- Plantas Asfálticas en Caliente	122
3.2.- Clasificación de las Plantas Asfálticas	140
3.3.- Causas de Fallas en la Mezcla	146
3.4.- Requisitos Técnicos para una Planta Asfáltica	148
3.5.- Requerimientos para Plantas que Controlan Granulometría Dosificación en Caliente	152
3.6.- Requerimientos para plantas que Controlan Granulometría Dosificación en Frío	153
3.7.- Requerimientos para Plantas Batch	153
3.8.- Requerimientos para Plantas de Mezcla Continua	154
3.9.- Requerimientos para Plantas de Tambor	154
3.10.- Implementación Básica de un Laboratorio de Asfaltos	155
3.11.- Mezclas Asfálticas en Frío	157
Capitulo IV	162
4.- La Compactación	162
4.1.- Factores que Afectan la Compactación	163
4.2.- Recomendaciones para la Colocación y Compactación	164
4.3.- Compactación para Pav. De Mezclas en Caliente	168
4.4.- Maquinaria Usada en la Compactación	170
4.5.- Controles	173
4.6.- Causas y Efectos de una Mezcla no Adecuada	176
4.7.- Reparaciones de Pavimentos Asfálticos	193
4.8.- Costos	197

CONCLUSIONES	202
ANEXOS	
Anexo 1 “Ábacos del Método de Diseño Hveem”	204
Anexo 2 “Factores de Corrección por Alturas de Probetas Marshall”	209
Bibliografía	213

## RESUMEN

Las emulsiones se obtienen de la destilación de petróleo del cual se saca entre ello el cemento asfáltico. La composición de las emulsiones es cemento asfáltico, agua y un emulsificante para que se puedan mezclar por ser inmiscibles. Las emulsiones se dividen en aniónicas y catiónicas se debe a su carga eléctrica. A estas se le practicaron los distintos tipos de ensayos propuestos.

También se estudiaron los tipos de diseño de mezclas asfálticas los cuales fueron el método Marshall, el Hveem y el Superpave; siendo el primer método el más usado en nuestro país y el que aprueba el Laboratorio Nacional de Vialidad.

Las plantas asfálticas, sus tipos y características, compactación y los costos asociados a una pavimentación es otro de los temas tratados.

## SUMMARY

Emulsions are obtained by the petroleum distillation, across this proceeding we get the asphaltic cement. The emulsion composition is asphaltic cement and water, this are immiscible, for this reason is necessary an emulsive for to obtain the mixture.

By its electric charge emulsions are classiflicated in anionics and cationics. Both were subjected to different kinds of essays proposed.

Also were studied some designs of asphaltics mixtures like Marshall, Hveem and Superpave methods, being Marshall's method the most used in our country and its approved by the Laboratorio Nacional de Vialidad.

Other theme studied was the asphaltics plants, their types and characteristics, compactation and pavimentation cost associated.

## INTRODUCCIÓN

La palabra Asfalto, deriva del acadio, lengua hablada en Asiría, en las orillas del Tigris superior, entre los años 1400 y 600 A.C. En esta zona se encuentra en efecto la palabra "Sphalto" que significa "lo que hace caer". Luego la palabra fue adoptada por el griego, pasó al latín y, más adelante, al francés (asphalte), al español (asfalto) y al inglés (asphalt). Estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado.

El transporte carretero comercial creó la dependencia exigiendo amplias carreteras para más y mejores vehículos. En el segundo caso, el petróleo produjo importantes volúmenes de asfaltos aptos para un directo uso vial (cementos asfálticos) y asfaltos diluidos con las fracciones livianas (cut-back). Las emulsiones bituminosas de tipo aniónico aparecieron por entonces (1.905) como paliativo del polvo, mientras que las catiónicas lo hicieron entre 1.951 y 1.957 en Europa y EE.UU. respectivamente; en Argentina las aniónicas comenzaron a producirse a mediados de la década del '30 y las catiónicas a fines del '60. Tanta actividad volcada al campo vial hizo que se hablara de la "era del automóvil y la construcción de carreteras". Los primeros trabajos asfálticos en calles y caminos fueron hechos con procesos sencillos para distribuir tanto el ligante como los áridos (a mano), apareciendo luego lanzas con pico regador y bomba manual.

En general el uso de las emulsiones asfálticas y de los asfaltos en sí se a masificado bastante debido a su versatilidad ya que desde los caminos a pasado a ser parte de nuestra vida cotidiana en la pavimentación de nuestras calles en las ciudades y del uso de las emulsiones como impermeabilizantes y como imprimantes.

Se presentará también en este trabajo los tipos de emulsiones ya sea aniónicas o catiónicas, de que depende esto y además del tipo de quiebre que se le denomina. Además se determinarán los distintos tipos de ensayos a los que están sometidas las emulsiones en nuestro país y las especificaciones de cada emulsión asfáltica.

Se denotará a su vez el diseño de pavimentos lo cual es importante describirlos materiales usados. En primer lugar veremos los cementos asfálticos y sus distintos tipos de ensayo, luego los agregados pétreos y sus ensayos requeridos, Y el filler que es un elemento importante para disminuir el índice de vacíos en la mezcla.

En la sección de Diseño de Mezclas Asfálticas se tomaron como referencia tres métodos de diseño el Método Marshall, Hveem y el SUPERPAVE.

Además se presentará el funcionamiento y las partes que componen una Planta Asfáltica Continua en las que se detallará cada componente de ésta, también se verá la clasificación de las plantas asfálticas y los requisitos técnicos para plantas asfálticas de mezclas en caliente y la descripción de las mezclas asfálticas en frío.

Por ultimo una parte importante en la pavimentación como lo es la Compactación en lo que se tratará los factores que afectan a ésta, las recomendaciones para una buena compactación, las maquinarias usadas en estas faenas.

## PARTE I EMULSIONES ASFALTICAS

### CAPITULO 1. - EMULSIONES

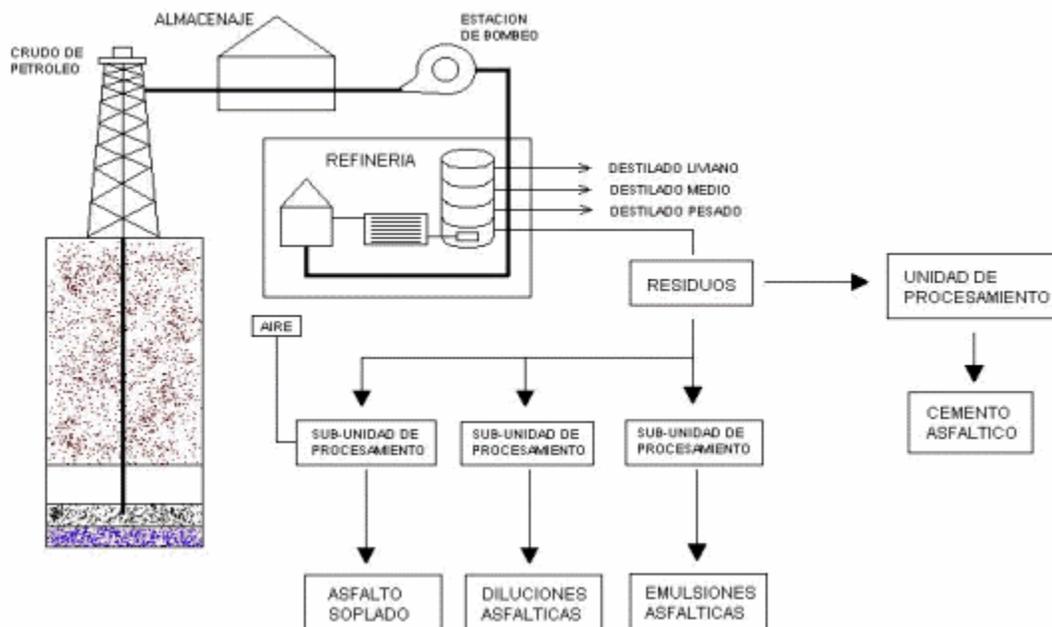
#### 1.1. - DESCRIPCION GENERAL.

Se denomina emulsión a un sistema compuesto de dos líquidos inmiscibles de los que uno se dispersa en el otro en forma de gotas diminutas, denominando al primero como FASE DISPERSA y al segundo como FASE CONTINUA.

Las emulsiones o betún asfáltico es el procedente de la destilación del petróleo; del crudo de donde principalmente se obtiene el betún o emulsión.

Del crudo en las refinerías se obtiene diversos productos después de pasar por varios procesos o procedimientos, entre los diversos productos que se obtienen se encuentran varios tipos de gases, gasolinas y kerosene, diesel, combustibles y PITCH ASFÁLTICOS.

El producto obtenido desde el fondo de la torre de destilación, posterior a la extracción de los componentes livianos, se denominan pitch asfáltico, con el cual se prepara el cemento asfáltico que a temperatura ambiente es un compuesto semisólido.



El cemento asfáltico se obtiene para diferentes consistencias, que se miden a través del ensaye de penetración o ensayes de viscosidad.

En las emulsiones asfálticas, las dos fases en presencia son agua y asfalto. Si se agitan asfalto fundido y agua caliente se obtiene una emulsión inestable que solo dura el momento de la agitación, tan pronto como cesa esta las partículas de asfalto se unen unas a otra, formando una masa continua separada del agua.

Las emulsiones como ya hemos mencionado están compuestas por cemento asfáltico, agua y un agente emulsificante en las proporciones aproximadas de:

- cemento asfáltico: 50% a 63%
- Agua: 35% a 50%
- Agente emulsificante: 0,5% a 2 %

Para la obtención de la emulsión es necesario la unión del asfalto con el emulsificante o solución acuosa para ello se utiliza los molinos coloidales. El Molino Coloidal Homogenizador tiene como función Principal la de triturar, moler y/o refinar los componentes de una mezcla húmeda, logrando como resultado una dispersión – homogenización final con tamaños de partículas cercanos al micrón, siendo sometido el producto a procesar a fuertes acciones de corte y rozamiento. El producto a procesar recorre la superficie encerrada por un rotor cónico ranurado en su periferia, que gira a 3000 RPM. Y un estator también cónico interior ranurado que se encuentra fijo. El espacio libre entre ambas piezas, se regula por medio de un dispositivo de ajuste que se maneja externamente y con el equipo en funcionamiento. La regulación de los conos se efectúa mediante un volante que permite graduar la separación y aproximación entre los conos. El diseño de un disco centrifugador hace el efecto de bomba impulsando el producto a través de cañerías pudiendo elevarlo hasta una altura de dos metros.



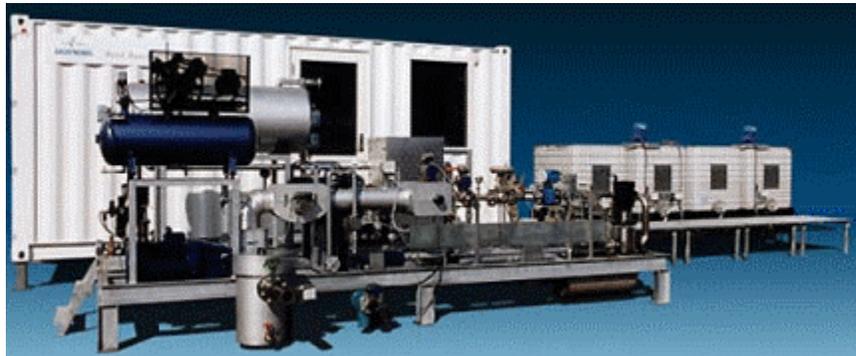
Planta de Emulsiones Asfálticas El Objeto de la Planta de emulsiones asfálticas, es la de obtener una muy buena calidad de emulsión y a un costo competitivo. Para logra una buena calidad de emulsión asfáltica es necesario: calibrar presiones, temperaturas y caudales ya sea para el asfalto como para la fase acuosa.

#### Elementos de una Planta de Emulsiones Asfálticas

- Bomba de asfalto caliente
- Molino coloidal
- Cambiador de calor
- Tanque de inspección de emulsión
- Bomba de transferencia de emulsión
- Tablero instrumental
- Sistema de calentamiento de aceite
- Bomba dosificador de la fase acuosa
- Tanque de premezcla de emulsión concentrada
- Agitador
- Bomba de agua
- Tanque de almacenamiento de emulsión terminada
- Tanque de almacenamiento de asfalto caliente

- Termo tanque
- Cámara de turbulación
- Válvulas reguladoras de presión
- Control de temperatura
- Llave de presión
- Válvula de Muestreo
- Medidor de Fluido
- Válvula de Chequeo
- Colador
- Válvula de control de temperatura
- Válvula de control de fluidos

#### Planta Portátil de Fabricación de Emulsiones Asfálticas



Para ello se tienen que usar los emulgentes para la obtención final de las emulsiones, dentro de los emulsificantes podemos reconocer tres grupos que son:

- electrolitos
- materiales coloidales
- Sólidos reducidos a polvo muy fino.

Los materiales mayormente usados como emulsificantes son los pertenecientes al segundo grupo es decir los Materiales Coloidales. La composición

de las emulsiones asfálticas se basa en un producto no polar, el cemento asfáltico y otro polar, el agua. En general los líquidos son buenos solventes de sustancias que tengan las mismas características polares:

- No polares – no polares.
- Polar – polar.

Las moléculas del agente emulsionante tienen afinidad por ambas sustancias ya que se fijan, en la capa interfacial entre el agua y el cemento asfáltico. Se utilizan productos químicos cuyas moléculas están compuestas por una parte no polar, que tenderá a disolverse en el cemento asfáltico y una polar que tenderá a disolverse en el agua.

## 1.2.- TIPOS DE EMULSIONES

Dentro de las emulsiones asfálticas podemos distinguir dos grandes grupos que se determinan de acuerdo a la carga eléctrica que poseen, esto principalmente depende del tipo de emulsificador:

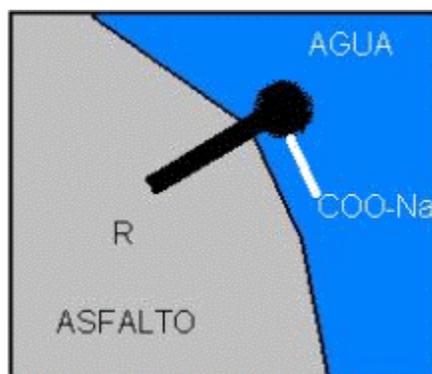
- Emulsiones Aniónicas que son las de carga negativa.
- Emulsiones Catiónicas que son las de carga positiva.

### 1.2.1 Emulsiones aniónicas:

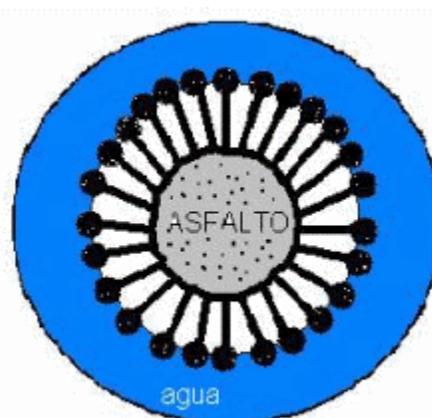
Como ya se mencionó este tipo de emulsión está cargado negativamente por ende trata de unirse con elementos que estén cargados positivamente.

Los emulgentes empleados en la fabricación de las emulsiones aniónicas son normalmente oleatos de sodio o potasio (jabones de sodio) del tipo  $R-COO-Na^+$  (ácidos grasos).

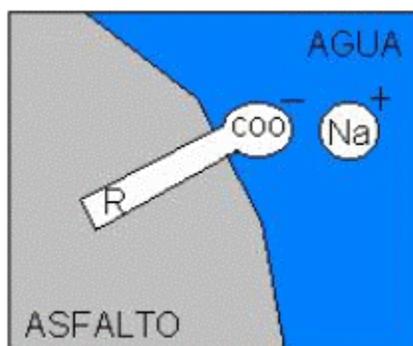
El radical R queda sumergido en glóbulos de cemento asfáltico y el grupo COO- unido a él queda en la fase acuosa donde se disocian los cationes Na<sup>+</sup>.



Las moléculas del agente emulsionante cubren completamente el glóbulo de cemento asfáltico, quedando tapizado de radicales negativos y actúan como si estuvieran cargado negativamente.



Esta carga negativa impide el contacto directo de los distintos glóbulos de asfalto, por lo que tienden a mantenerse separados y mantienen estable la emulsión. En la practica, para lograr una protección eficaz del glóbulo de asfalto se emplea la cantidad de emulgente necesaria para lograr que sus moléculas tapicen totalmente su superficie y la situación del glóbulo de asfalto en la emulsión terminada es la indicada en la siguiente figura:



A causa de su carga negativa, los glóbulos de cemento asfáltico de una emulsión aniónica tiene especial afinidad por las superficies iónicamente positivas como son los áridos tipo calizas ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomitas y basaltos.

La representación que se emplea en las figuras de ejemplo de las moléculas de las emulsiones (una cabeza grande o voluminosa seguida por una cola larga) es muy parecidas a la realidad. Los jabones de metales bivalentes suelen producir emulsiones de agua en asfaltos, lo que puede explicarse por análogas considerables geométricas.

Cuando el asfalto empleado contiene una elevada proporción de ácidos nafténicos pueden fabricarse emulsiones aniónicas utilizando como emulsificante los jabones formados por los ácidos nafténicos de los asfaltos con un álcali.

Dentro de las emulsiones aniónicas se puede encontrar las emulsiones:

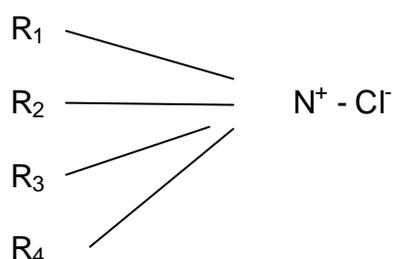
- Emulsiones de quiebre lento (RS – 1, RS – 2)
- Emulsiones de quiebre medio (MS – 1, MS – 2, MS – 2h)
- Emulsiones de quiebre rápido (SS – 1, SS – 1h)

Dependiendo de la rapidez de quiebre se clasifican y esto va dependiendo según la proporción y tipos de emulsificantes empleados, se obtienen según estos las emulsiones de mayor o menor rapidez de quiebre, o sea la velocidad con que las partículas de asfalto recubren el agregado pétreo separándose del agua.

### 1.2.2.- Emulsiones Catiónicas:

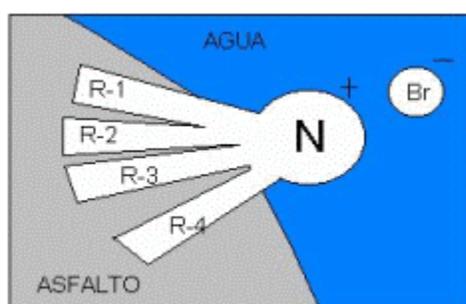
Estas son aquellas en que las partículas de asfalto están cargadas positivamente, por lo que representan afinidad por los grupos cargados negativamente y por ende contrariamente a las emulsiones aniónicas que tratamos anteriormente.

Los emulgentes ocupados para la obtención de estas emulsiones catiónicas son normalmente sales de amonio cuaternario de tipo:



o amina grasa (diamina, amido-amina, imidazolina).

Los radicales  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  se sumergen en los glóbulos de asfaltos y el nitrógeno queda en la fase acuosa donde se disocian los aniones  $Cl^-$  que es uno de los muchos que se pueden emplear en la practica para la elaboración de los diversos tipos de emulsiones.



En las emulsiones catiónicas se clasifican al igual que las emulsiones aniónicas de acuerdo a su velocidad de quiebre o sea a una clasificación de emulsiones de quiebre rápido, medio y lento.

Las siglas o comúnmente llamadas son:

- Catiónicas de quiebre rápido (Cationic rapid setting): CRS – 1, CRS – 2
- Catiónicas de quiebre medio (Cationic médium setting): CMS – 1, CMS – 2, CMS – 2h
- Catiónicas de quiebre lento (Cationic slow setting): CSS – 1, CSS – 1h.
- 

En general las emulsiones producen en las mezclas asfálticas un recubrimiento más delgado en material pétreo. Su uso se ha estado ampliando por las mismas razones que los asfaltos cortados han ido disminuyendo, debido a que no se produce tanta contaminación debido a que el vehículo solvente para la elaboración de los asfaltos con estas emulsiones es agua por lo que se evapora no produciendo polución.

Por ejemplo:

CSS – 3K – Emulsión Catiónica (K) de quiebre lento (S) y 3 que tiene viscosidad entre 250 y 500 S.S.F.

Además se puede incluir otra característica adicional según sea la dureza del residuo asfáltico que si esta entre 40 y 90 de penetración la emulsión se denominará con la letra h al final de su nombre.

Por ejemplo:

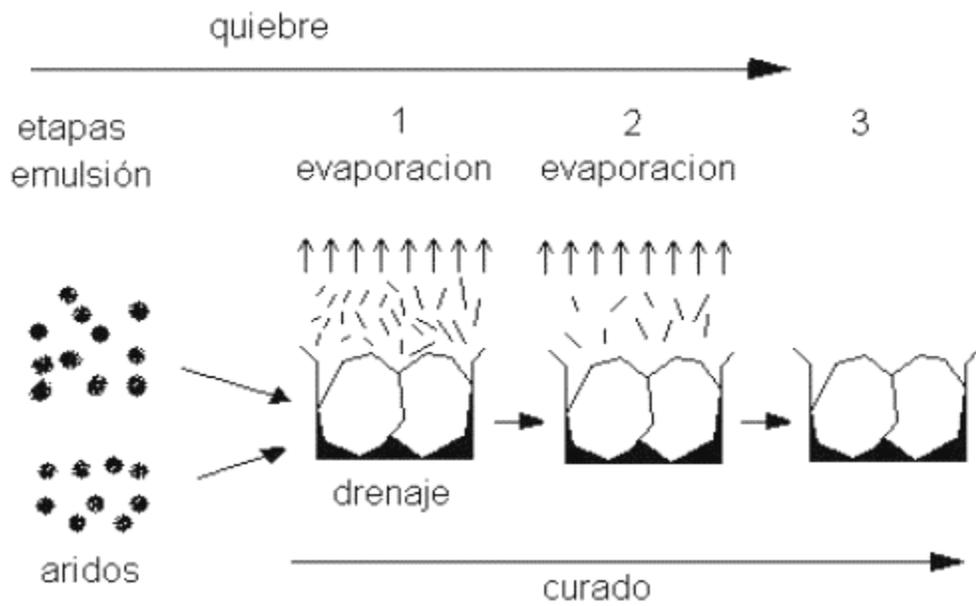
RS - 3 kh

RS = Quibre rapido (Rapid Setting)

3 = Viscosidad 250 a 500 segundos saybolt Furol.

k = Catiónica (se usa con áridos de carga negativa).

h = residuo duro (de penetración entre 40 y 90)



### 1.3.- FABRICACION DE LAS EMULSIONES

Para fabricar las emulsiones es necesario mezclar en las condiciones necesarias asfalto, agua y el emulgente necesario para crear la emulsión especificada. Una de las condiciones más importante en el momento de la mezcla es la viscosidad ya que tiene que ser suficientemente baja para permitir que se disperse en gotas microscópicas. Para ello se calienta a una temperatura de unos 100 grados Celsius.

Las sustancias emulgentes generalmente se le agregan al agua pero en algunos casos este se agrega al asfalto, pero hay un inconveniente muy grave en este método ya que al agregarle el asfalto directamente se produce espuma, lo que dificulta el actuar del asfalto como elemento de cohesión. El agua junto con los emulgentes se mezcla con mucha energía para poder lograr la emulsión adecuada por que como se sabe el asfalto es un material inmiscible y es muy difícil que haya una perfecta mezcla con el agua si no hay una agitación enérgica. Estos elementos se someten a grandes esfuerzos para lograr la emulsificación de los elementos y además estos elementos tienen que tener sistemas de calor para que permitan que el asfalto pierda un poco de viscosidad.

Hay que tener en cuenta además de como se emplean los emulsificantes para que el transporte sea más fácil y para la aplicación misma del asfalto también hay que tomar en consideración su rotura o quiebre según sea el caso que es proceso por el cual el agua se separa del asfalto y este vuelve a actuar en su estado normal por lo tanto la rotura puede producirse por varios factores tales como:

- a) Afinidad química de los glóbulos de asfalto cargados eléctricamente por las *superficies de carga opuesta*. Por lo dicho anteriormente las partículas de asfalto de la emulsión aniónica están cargadas negativamente y por ende tienen afinidad por las superficies positivas, lo que conlleva la presencia de áridos básicos, por lo tanto las emulsiones tenderán a romperse por adherencia del asfalto a la piedra; pero en el caso de las emulsiones aniónicas la fuerza para producir la rotura no es suficiente.

En cambio en las emulsiones catiónicas el efecto de los áridos electro-negativos es muy fuerte por lo cual la rotura es casi inmediata de las emulsiones.

- b) Rotura del equilibrio de la emulsión por evaporación de agua. La estabilidad que tiene la emulsión está asegurada por la protección que las moléculas del emulgente dan a las partículas de asfalto. Estas moléculas se fijan en la superficie de los glóbulos en equilibrio entre la atracción ejercida por el asfalto sobre la cadena no polar y la ejercida por el agua sobre la parte polar de la molécula.

#### 1.4.- PRUEBAS QUE SE EFECTUAN EN LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.

- POTENCIAL DE HIDRÓGENO. (PH). Consiste en conocer el grado de acidez o alcalinidad de la fase acuosa, además también nos indica el tipo de emulsión de que se trata sabiendo que las emulsiones *catiónicas* son ácidas y las *aniónicas* son alcalinas.

- RETENIDO EN LA MALLA NÚMERO 20. este ensaye indica si la emulsión presenta glóbulos de un tamaño muy grande, el procedimiento consiste en hacer pasar el asfalto o emulsión por la malla 20 y se observa que porcentaje se retiene en la misma.
- ASENTAMIENTO EN 5 DÍAS. Nos ayuda a conocer la homogeneidad que presentan los productos al ser almacenados y el ensaye consiste en dejar reposar durante 5 días el producto, y determinar las diferentes concentraciones que presente el asfalto.

#### 1.4.1- MÉTODO DE MUESTREO PARA MATERIALES BITUMINOSOS

(obtenido de ensayo del laboratorio nacional de vialidad y adaptación de la AASHTO T 40)

Este método se aplica para obtener la muestra de materiales asfálticos líquidos, semisólidos o sólidos; ya sea en el lugar de fabricación, terminal de abastecimiento es decir donde se hacen las emulsiones o simplemente en el lugar de despacho.

Las muestras se deben obtener de los centros de acopios de los asfaltos ya sea de estanques o bien de los camiones en donde es transportada la emulsión.

La parte de toma de muestra es tan importante como el ensayo en sí, por que en esa toma de muestra se ve en la verdadera naturaleza en que se encuentra la emulsión o el material que se va a extraer, por lo cual se deben tomar en consideración varios factores que los detallare mas adelante.

La cantidad de muestra es de 2 Kg. Como mínimo ya sea de cada válvula estanque o recipiente en donde este almacenado la emulsión; en cambio para materiales semisólido es de 1 Kg. Solamente.

Los envases para materiales bituminosos excepto las emulsiones deben ser de boca ancha con tapa rosca, en cambio para las emulsiones debe ser en frascos de vidrio o simplemente lata pero con tapa a presión.

Los envases deben estar cerrados herméticamente para evitar que se contamine y no produzca un mal ensaye de ésta.

Hay que tener en consideración la tipificación de los envases para que no sean confundidos para su posterior ensaye y clasificación; por ende tiene que llevar la identificación de la obra, procedencia, N° de guía de despacho, fecha de muestreo, firma de la persona que tomo la muestra, tipo de emulsiona, sistema de acopio (es decir estanque, camión, etc.), y finalmente N° de la muestra.

El muestreo se divide en varios tipos ya sea de donde se obtiene la muestra:

- Muestreo en el lugar de producción esto quiere decir que es tomado de materiales líquidos o licuados por calentamiento, de almacenamiento a granel que no tienen agitadores mecánicos, dentro de este tipo de extracción se subdivide en muestreo de estanque con llave, de tubo muestrador y del envase desechable; el primero se usa con una válvula o perforaciones que tenga el estanque de almacenamiento de ahí se extraen los 2 Kg. Necesarios para la muestra después se debe drenar unos 4 litros de material de cada uno de ellos. Del segundo se toman muestra del nivel superior, intermedio e inferior del estanque por medio de tubos muestrador que se hace descender a través del material. En el método del envase desechable las muestras se deben tomar en el nivel superior, intermedio e inferior al igual que el anterior pero en este caso se usa un dispositivo de retención y peso adecuado dentro del material. La característica principal de esta muestra es que cada vez que se toman las muestras se hacen con un envase desechable por lo cual se asegura que no hayan elementos contaminantes en la toma de muestra.

- Muestreo de vagones tanques, camiones tanques, camiones distribuidores o estanques de almacenamiento. En este caso cada vehículo en que se transporta debe tener una válvula de muestreo para la extracción, ésta debe estar situada al menos 30 cm. Del caso de almacenaje y debe estar etiquetada antes de tomar la muestra hay que dejar que escurra un mínimo de 4 litros.
- Muestreo de barcos tanques o barcazas. Como los anteriores se deben tomar muestras en la parte superior, intermedia e inferior del tanque.
- Muestreo de líneas de cañería durante la carga o descarga. Es conveniente tomar muestras cuando los barcos descargan la emulsión por cañerías de donde fluye el material. Para ello se debe instalar un dispositivo de extracción o muestreo en la descarga de la bomba en el cual el material escurre hacia él por gravedad, el dispositivo debe estar colocado de frente al escurrimiento del líquido por supuesto. Se deben tomar a lo menor 3 muestras de 2 Kg. Cada una para su respectivo ensaye.

Precauciones: una de las principales precauciones que hay que tener en la extracción de muestras es la posible contaminación que puede suceder en la toma de muestra ya sea por el tipo de envase que se use o por el mismo ambiente donde este el almacenaje de la emulsión por lo cual el manipuleo es lo más importante.

#### 1.4.2- Especificaciones para emulsiones asfálticas aniónicas

(del laboratorio nacional de vialidad N° 30 – 84, adaptada de la AASHTO M 140 – 70)

Ésta es para determinar el uso en pavimentos de este tipo de emulsión. El principal factor que hay que obtener de este ensaye es que la emulsión asfáltica sea homogénea. Esto se ve que dentro de los 30 días después de despachada de la

fabrica y después del mezclado la emulsión deberá permanecer homogénea sin tomar en cuenta si la separación a sido causada por congelamiento. Las emulsiones asfálticas deben estar de acuerdo con los requisitos indicados en la siguiente tabla:



También hay que tener en cuenta las aplicaciones de cada una de estas emulsiones por ejemplo: las emulsiones aniónicas de quiebre rápido como RS – 1, sus aplicaciones típicas son para tratamientos superficiales, macadám de penetración, sello de arena, riego de liga o como antierosionante; para RS – 2 sirve para tratamientos superficiales, macadam de penetración sello de gravilla (simple y múltiple). Para las emulsiones aniónicas de quiebre medio como la MS – 1 sirven para la mezcla en planta en frío, mezcla en sitio, sello de arena, juntas y riego de liga; para MS – 2 mezcla en planta en frío, sello de gravilla, mezcla en sitio, juntas y riego de liga; la MS – 2h mezcla en planta en frío, sellos de gravilla, juntas, mezcla en sitio y riego de liga. Y finalmente la emulsión aniónica de quiebre lento, los 2 grados sirven para lo mismo, mezcla en planta en frío, mezcla en sitio, lechada asfáltica, riego de liga, riego negro, matapolvo antierosionante.

Las muestras de materiales bituminosos deben estar de acuerdo con la norma n° 6 del Laboratorio Nacional de Vialidad “ Método de Muestreo de Materiales Bituminosos” que se detallará en la sección de ensayos. Las muestras se obtendrán de acuerdo con lo dicho en esta norma.

Las propiedades de las emulsiones asfálticas dadas en la tabla N° 1 serán determinadas de acuerdo con los ensayos determinados en la norma 42 del Laboratorio Nacional de vialidad.



Las muestras como la anterior también serán tomadas de acuerdo con la norma N° 6 de Laboratorio Nacional de Vialidad, y las propiedades de las emulsiones asfálticas serán también determinadas de acuerdo con la LNV 42 todo esto detallado mas adelante en la sección de ensayos

1.4.4.- Método de ensaye para determinar la viscosidad SAYBOLT (de la norma LNV 39– 84, de la ASSHTO T 72– 78)

La viscosidad de las emulsiones se mide en el viscosímetro Saybolt Furol y la unidad en segundos Saybolt Furol (SSF). Por norma se usan dos temperaturas de ensaye, las cuales cubren el rango de trabajo. Estas temperaturas son 25° y 50° C. Pero este método cubre el procedimiento para la media empírica de viscosidad con la temperatura especificada entre 20 y 100° C.

Para hacer el ensayo a 25°C se calienta una muestra hasta la temperatura de ensayo, revolviéndola cuidadosamente. Se la vuelca a través de un colador en un tubo normalizado que tiene un orificio tapado. Se saca luego el tapón y se mide el tiempo que tardan en salir 60 ml de asfalto. Este intervalo de tiempo medidos en segundos, es la viscosidad de Saybolt Furol. Es obvio que cuanto más viscoso es el material, mayor es el tiempo que necesita un determinado volumen para fluir por el orificio. Por lo tanto un incremento en el número de viscosidad indica un aumento en la viscosidad de la emulsión.

Viscosidad Saybolt Furol. El tiempo al igual que el otro es de 60 segundos que fluye por un orificio Furol especificado. La viscosidad Furol es aproximadamente un décimo de la viscosidad Saybolt Universal y es recomendable para aquellos productos en que la viscosidad es mayor a 1000 s desde el punto de vista Saybolt Universal eso si. Y la palabra Furol es una sigla que proviene de “fuel and road oils”

Los instrumentos usados en este ensayo son:

- » Viscosímetro Saybolt con baño
- » Tubo succionador
- » Soporte para termómetro
- » Embudo filtro
- » Frasco recibidor
- » Cronometro éste tiene que estar graduado en segundos y con una exactitud de 0,1 por ciento.
- » Termómetro para viscosidad para leer la temperatura del ensaye de la muestra
- » Termómetro para baño.



Se utiliza el orificio universal para lubricantes y materiales destilados con tiempo de flujo, mayor a 32 seg. Y se utiliza el Furol para materiales residuales con tiempo de flujo mayor de 25 seg. el viscosímetro tiene que estar en lugares donde no hayan corrientes de aire o cambios de temperatura muy bruscos ni menos contaminación.

El tiempo de flujo será igual al valor certificado de la viscosidad Saybolt si el tiempo difiere en mas de 0, 2 se usa un factor de seguridad para el viscosímetro:

$$F = \frac{v}{t} \quad \text{donde:}$$

v = viscosidad Saybolt certificada

t = tiempo de flujo en segundo a 38° C.

La tolerancia de temperatura es de 1,6 °C por encima de la temperatura de ensaye para no provocar un recalentamiento en la muestra.

Para seguir con el ensaye se debe colocar un corcho que tenga un cordel unido para quitarlo con facilidad, la muestra posteriormente se filtra para que quede a un nivel de derrame del viscosímetro después de tomar el tiempo para determinar la viscosidad de la emulsión se saca el corcho que se le había puesto al tubo y también un recipiente receptor.

Para determinar la viscosidad se toman los factores que están en juego; se multiplica el tiempo de flujo por el factor de calibración para el viscosímetro utilizado para este ensayo, se informa el tiempo en segundos y también muy importante la temperatura a la cual fueron tomadas las anotaciones

1.4.5.- Método de ensaye para emulsiones asfálticas ( del LNV 42 – 84 adaptadas de las normas AASHTO T 59 – 82)

En este método se verá los distintos ensayes a que son sometidas las emulsiones para ellos se detallará de una en una para determinar bien los ensayes que hay que tener en cuenta en el caso de las emulsiones.

Los ensayos a las emulsiones son:

- » **Composición**
  - » Residuos por destilación
  - » Cargas de partículas de emulsión
- » **Consistencia**
  - » Viscosidad Saybolt Furol
- » **Estabilidad**
  - » Demulsibilidad

- » Sedimentación
- » Mezcla de cemento
- » Tamizado
- » Congelamiento
- » Capacidad de cubrimiento y resistencia al agua
- » Almacenaje y estabilidad de las emulsiones asfálticas
- » **Examinación de residuo**

#### 1.4.5.1.- RESIDUOS POR DESTILACIÓN.

Con esta prueba se obtiene el contenido de agua y disolventes que presenta la emulsión cuando se calienta a 260° C. Al residuo se le efectúan pruebas de penetración, ductibilidad y solubilidad para saber como le afecta la temperatura al cemento asfáltico.

Los aparatos utilizados en este ensayo son destiladores de aleación de aluminio que es de aproximadamente de 240 mm de altura por 94 mm de diámetro interior, con un anillo quemador de  $125 \pm 5$  mm con orificios para ajustarlo al destilador; conexión del equipo, consiste en un tubo conector, escudo de metal, un condensador enfriado por agua y un adaptador adecuado entre el condensador y una probeta graduada de 100 ml. El cual lo detallare mas adelante en el dibujo que mostrare, termómetros para medir la temperatura en la etapa de destilación y por ultimo una balanza con una capacidad de 5000g con una sensibilidad de 0,1 g.

#### Procedimiento

Se debe pesar exactamente 200 g de una muestra de emulsión para realizar este ensayo, previo al ensaye se deben pesar lo que es el destilador, abrazaderas, termómetros y empaquetaduras y otro elemento que contenga el destilador y que pueda alterar el ensayo en si por el peso mas que nada. Se debe

tapar bien con un papel aceitado o asbesto entre la tapa y el destilador, la tapa tiene que quedar herméticamente sellada. En la tapa están los corchos en los pequeños orificios por el cual ahí se deben colocar los termómetros para determinar la temperatura, éstos deben estar a 6,5 mm del fondo del destilador y el bulbo del otro debe quedar a 165 mm desde el fondo.

Colocar el anillo quemador alrededor del destilador a 150 mm desde el fondo de éste, la llama debe quedar al mínimo.

La temperatura debe de aumentar aproximadamente a los 215 °C luego de eso incrementar la temperatura a 260 °C manteniendo esta temperatura por alrededor de unos 15 minutos. La destilación debe estar completa entre los  $60 \pm 15$  minutos desde la primera aplicación de calor.

Una vez terminado el ensaye en si y dejando que se enfríe se deben pesar los elementos para determinar los residuos sobrantes en el matraz igualmente registrar el volumen de aceite destilado y sacar el porcentaje de la emulsión. Quitar la tapa del destilador mover y verter en un tamiz de 0,315 mm dentro de una cápsula metálica de 240 ml. Y luego de enfriar se deben ensayar los residuos dispuesto a la LNV 42 a 46.

#### Precisión

El criterio que se debe usar para aceptar los resultados:

Residuos por destilación, % masa	50 a 70
Repetición, % masa	1,0

Los resultados de los dos ensayes ellos por 2 laboratoristas no deberían diferir al menor que den las siguientes cantidades

Residuos por destilación, % masa	50 a 70
Repetición, % masa	2,0

#### 1.4.5.2.- CARGA DE PARTICULA DE EMULSIÓN ASFALTICA.

Se efectúa para identificar la polaridad de los glóbulos de asfalto en una emulsión teniendo carga eléctrica negativa las aniónicas y positiva las catiónicas. Se aplica una carga de 8 mili-amperes y la emulsión se irá hacia el lado que presente carga contraria a la que ella tenga.

Para determinar el ensayo se deben tener los siguientes instrumentos: Una fuente de energía de 12 volt de corriente continua, un miliamperímetro y una resistencia variable. Dos placas de acero inoxidable de 25 milímetros por 102 milímetros aisladas una de la otra y sostenida rígidas y separadas a 13 mm.

##### Procedimiento.

Se vierte una cantidad de emulsión dentro de un vaso de 150 o 250 ml. Para que los electrodos estén inmersos al menos 25 mm. Después de tener la emulsión a ensayar se conectan los electrodos a la fuente los cuales se ajustan a una corriente de 8 mA con la resistencia variable y se comienza a medir el tiempo, cuando la corriente ha caído a 2 mA o a llegado a los 30 minutos tener en cuenta el asfalto depositado sobre los electrodos si es una emulsión catiónica depositara una capa apreciable de asfalto sobre el cátodo, electrodo negativo mientras que el ánodo, electrodo positivo, quedara relativamente limpio, esto indicara que el asfalto ensayado tiene carga positiva, de igual manera al ensayar una emulsión aniónica depositara una capa apreciable sobre el ánodo, electrodo positivo quedando el cátodo relativamente limpio y esto quiere decir que la emulsión es de carga negativa.

#### 1.4.5.3.- ENSAYE DE VISCOSIDAD

Los aparatos utilizados en este ensaye son: viscosímetro Saybolt Furol conforme a lo estipulado por el LNV, un tamiz de 0,85 mm, termómetro para ensayes

a 25 °C y a 50 °C y un baño de agua para mantener la temperatura requerida en el ensaye dentro de los especificado por el LNV.

#### Ensaye.

Los ensaye se realizan a los 25 y 50 °C. Para el ensaye a los 25 °C se agita la mezcla cuidadosamente con el cuidado de no incorporar burbujas y vierta entre 100 y 110 ml. Dentro de una botella graduada de 120 ml y tapar. Posteriormente se coloca al baño a una temperatura de 25 °C durante 30 minutos y se mezcla la emulsión invirtiéndola en la botella lentamente varias veces para prevenir la formación de burbujas y espuma que no es recomendable después vierta el contenido dentro del viscosímetro a través de la malla y posteriormente se coloca el corcho. Se coloca el corcho en posición y llene el viscosímetro hasta que el líquido se derrame por el borde y sin perturbar la muestra de ninguna forma se determine la viscosidad como se describe en el LNV 39.

Para el ensaye de 50 °C. Se limpia y se seca el viscosímetro e insertar el corcho y al igual que el anterior se agita la muestra, en este caso se vierten 100 ml en un envase de 400 ml. y se sumerge el fondo de la emulsión aproximadamente 50 mm bajo el nivel del baño de agua a  $71 \pm 3$  °C se sostiene el vaso verticalmente y se revuelve la emulsión con el mismo termómetro con un movimiento circular a una velocidad de 60 rpm. Para tener una temperatura uniforme en toda la emulsión. Como lo anterior evite la formación de burbujas caliente la emulsión en baño de agua a  $51 \pm 0,5$  °C, en este caso también se vierte la emulsión a través de la malla de 0,85 mm dentro del viscosímetro terminado esto se remueve el exceso de emulsión desde el rebalse con una pipeta y se determina la viscosidad como lo describe el LNV 39.

#### Precisión.

Los resultados duplicados por el mismo operador no serán mal considerados al menos que ellos difieran por las siguientes cantidades:

T° de ensaye °C	Viscosidad s	Repetibilidad % de la medida
25	20 a 100	5
50	75 a 400	9,6

Al obtener resultados por dos laboratoristas serán rechazados en el caso que difieran de los siguientes datos

T° de ensaye °C	Viscosidad s	Repetibilidad % de la medida
25	20 a 100	15
50	75 a 400	21

#### 1.4.5.4.-DEMULSIBILIDAD

La facilidad con que se rompen las emulsiones, esta prueba nos da una idea del tiempo adecuado para incorporar las emulsiones durante la elaboración de las mezclas asfálticas y consiste en pasar el material por la malla de 1.40 mm para efectuar otra destilación.

Los artefactos y reactivos permitidos en este ensayo son: tres mallas de alambre de 1,40 mm (N° 14) de aproximadamente 125 mm por lado con abertura y diámetro del alambre de acuerdo a la NCh 1022. Tres vasos de 600 ml. cada uno. Tres varillas de metal con puntas redondeadas de 8 mm de diámetro. Buretas de vidrio de 50 ml graduadas. Solución de Cloruro de Calcio (5,55 g/l) disuelto en agua destilada y en proporción 1:1 al igual que la solución de Cloruro de Calcio (1,11 g/l) y la solución de Dioctyl Sulfosuccinato de Sodio (8,0 g/l) disuelto en agua destilada para ser usada en emulsiones catiónicas. Balanza con una capacidad de 1000 g y una precisión de 0,1 g. y por ultimo un horno termostáticamente controlado y que sea capaz de mantener una temperatura de  $163 \pm 3$  °C

### Procedimiento

Primero se determina el porcentaje de residuo por destilación, se anota la masa de cada pieza del conjunto, vaso, varillas y mallas. Se pesa alrededor de 100 g. de emulsión asfáltica en cada uno de los 3 vasos antes prescritos y pesados, después de pesar la emulsión se le agrega el reactivo y se eleva la temperatura a  $25 \pm 0,5$  °C durante un periodo de tiempo aproximado a 120 segundos agregar a cada vaso con una bureta 35 ml de solución de cloruro de calcio (1,11 g/l) para emulsiones de quiebre rápido, o 50 ml de cloruro de calcio (5,55 g/l) para otras emulsiones de quiebre rápido. Mientras se agregan los reactivos se debe agitar la emulsión, continua y vigorosamente, con las paredes del vaso para asegurarse de que el reactivo se mezcle bien con la emulsión. Una vez terminado esto y que se hayan mezclado bien la emulsión con el reactivo de trasvasija a la malla y se lava bien el vaso y la varilla con agua destilada y después se lleva la mezcla nuevamente al vaso, éste se lleva al horno y se debe secar hasta que quede una masa constantes.

### Cálculos

Se resta la tara del vaso, varilla y malla de la masa seca del conjunto obteniendo el residuo final de la demulsibilidad, esto se calcula con la siguiente formula:

$$\text{DEMULSIBILIDAD } \% = \frac{A}{B} \times 100$$

donde:

A = masa promedio del residuo de demulsibilidad de los tres ensayos de cada muestra de emulsión asfáltica, y

B = masa de residuo por destilación en 100 g de emulsión asfáltica.

### Precision

El criterio que será usado para juzgar la aceptabilidad es el siguiente: la probabilidad de los resultados no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran de una cantidad mayor a la indicada

Demulsibilidad masa, %	Reproducibilidad % de la media
30 a 100	5

Los resultados no serán considerados dudosos si difieren por mas de las siguientes cantidades

Demulsibilidad masa, %	Reproducibilidad % de la media
30 a 100	30

#### 1.4.5.5.-SEDIMENTACION

Se utilizaran para este ensayo dos cilindros de vidrio de 500 ml, con base ajustable con tapones de vidrio o corcho u de otro material pero que los selle herméticamente que tenga un diámetro externo de  $50 \pm 5$  mm y graduación de 5 ml, pipeta de vidrio de 60 ml, un sifón, una balanza y un horno como el antes señalado.

##### Procedimiento

Se colocan 500ml de muestra en cada uno de los cilindros de vidrio, luego se tapan y se dejan si mover por durante 5 días en el laboratorio; después de pasado este periodo hay que remover 55 ml de la parte superior de cada cilindro con una pipeta para no alterar el resto de la muestra. Después pese 50 g por cada muestra por separados en vasos de vidrios tarados (de 600 ml) y determine el residuo asfáltico por evaporación luego de colocar la muestra en el horno a una temperatura de  $163 \text{ }^{\circ}\text{C}$  mas o menos por un mínimo de dos horas hasta obtener una masa constante.

### Cálculos

Los cálculos de sedimentación por la siguiente formula:

$$\text{SEDIMENTACION, \% (5 días)} = B - A$$

donde:

A = promedio del % de residuo de la parte superior de la muestra, y

B = promedio del % de residuo del fondo de la muestra.

### Precisión

El criterio que será usado para juzgar la aceptabilidad es el siguiente: la probabilidad de los resultados no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran de una cantidad mayor a la indicada

Sedimentación masa, %	Repetibilidad % de la media
0,0 a 1,0	0,4
sobre 1,0	5

Los resultados no serán considerados dudosos si difieren por mas de las siguientes cantidades

Sedimentación masa, %	Reproducibilidad %
0,0 a 1,0	0,8 de la masa
sobre 1,0	10 de la media

### 1.4.5.6.-MEZCLA DE CEMENTO

Este ensaye permite conocer la estabilidad de los productos al mezclarlo con material fino, el ensaye consiste en agregar cemento Pórtland a la emulsión y después cribar la mezcla por la malla de 1.8 y 1.4, determinándose el retenido en cada una de las mallas no debiendo formar grumos los materiales

Los elementos que se utilizarán serán tamices de 0,180 mm y 75 mm, y uno de 1,40mm, hechos según la norma NCh 1022. un bolo mezclador de vidrio o metal de aproximadamente medio litro, varillas de agitación de vidrio o acero, un cilindro graduado de 100 ml, balanza y horno.

#### Cemento

Se utilizara cemento Pórtland puzolánico de alta resistencia conforma a los requisitos del NCh 148 y una superficie especifica de  $3,450 \text{ cm}^2\text{g}$  como se estipula por ASSHTO T 153.

#### Procedimiento.

Se diluye la emulsión con agua destilada hasta un 55% del residuo determinado por evaporación por 3 horas al horno a  $163 \text{ }^\circ\text{C}$ , luego se tamiza una porción de cemento a través del tamiz 0,18 mm dentro del bolo mezclador. Antes de mezclar se deben llevar los ingredientes a una temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  se agregan 100 ml de la emulsión al cemento y se agita la mezcla con un movimiento circular y luego se le agrega 150 ml agua destilada y se continua la agitación por 3 minutos, posteriormente se vierte la mezcla a través del tamiz 1,40 mm previamente tarado y se debe lavar para que no quede nada en el bolo y después se lava la mezcla hasta que el agua salga totalmente limpia y luego la mezcla en el tamiz se calienta a  $163 \text{ }^\circ\text{C}$  y se pesa y se repite todo hasta que la diferencia entre pesadas no difiera de mas de 0,1 g

#### Precision

El criterio que será usado para juzgar la aceptabilidad es el siguiente: la probabilidad de los resultados no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran de una cantidad mayor a la indicada

Mezcla cemento, % masa	Repetibilidad % de la media
0 a 2	0,2

Los resultados no serán considerados dudosos si difieren por mas de las siguientes cantidades

Sedimentación masa, %	Reproducibilidad % masa
0 a 2	0,4

#### 1.4.5.7.-TAMIZADO

Para esto se ocuparon un tamiz que tenga 75 mm de diámetro, teniendo una malla tejida de alambre de 0,85 mm o sea un N° 20, una paila metálica o caja poco profunda adaptada para la parte inferior del tamiz y una solución de oleato de sodio (2%) y se disuelven 2 g de oleato de sodio puro en agua destilada y diluir a 100 ml y una balanza.

#### Procedimiento

Se registra la masa el tamiz y de la paila y se moja la malla de alambre con la solución de Oleato de Sodio. Se pesa 1 kg de emulsión asfáltica dentro de un recipiente adecuado y verterlo dentro a través del tamiz posteriormente se debe lavar el recipiente hasta que el agua salga clara, después se coloca la paila bajo el tamiz y caliente por 3 horas a 110 mas o menos en un horno de secado y en seguida se deja enfriar y se pesa el tamiz, paila y el residuo.

#### Calculos

Se calcula el porcentaje de muestra retenida sobre el tamiz con la siguiente formula:

$$\% \text{ de la muestra retenida} = \frac{B - A}{10}$$

donde:

A = masa del tamiz y paila, g.

B = masa del tamiz mas paila y residuo, g.

#### Precision

El criterio que será usado para juzgar la aceptabilidad es el siguiente: la probabilidad de los resultados no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran de una cantidad mayor a la indicada

ensaye de tamizado, % masa	Repetibilidad % masa
0 a 0,1	0,03

Los resultados no serán considerados dudosos si difieren por mas de las siguientes cantidades

ensaye de tamizado, % masa	Reproducibilidad % masa
0 a 0,1	0,08

#### 1.4.5.8.-ENSAYE DE CONGELAMIENTO

##### Procedimiento

Se coloca aproximadamente 400 g de la emulsión de un recipiente metálico limpio de mas o menos 500 ml y que pueda cerrarse a presión, luego se expone la muestra en el recipiente a una temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  por mas de 12 horas consecutivas luego al término del tiempo de congelamiento se deja deshielar a temperatura ambiente, repetir los periodos 3 veces, después de estas de esto se puede homogeneizar o se puede separar en capas las cuales eso si no se van a poder homogeneizar nuevamente.

#### 1.4.5.9.-CAPACIDAD DE CUBRIMIENTO Y RESISTENCIA AL AGUA.

Con este ensaye se estima que tanta afinidad existe entre la emulsión y el pétreo, nos permite observar como se porta esta unión ante la acción del agua, se recomienda emplear el material de la calizas mezclándose la emulsión y el suelo en

diferentes porcentajes para después lavarlas y observar que porcentaje de asfalto cubre el pétreo, siendo un valor mínimo el 75%.

En este caso se utilizarán: bolos de mezclado con una capacidad de aproximadamente 3 litros, una espátula de acero o algo parecido, tamices de 20 mm y 5 mm, aparato pulverizador de agua a nivel constante es para colocar una llave de agua a nivel constante de 780 mm el agua fluirá a baja velocidad, un termómetro, una balanza y una pipeta.

#### Materiales

Los materiales a utilizar son agregados normales de preferencia lavados y secados al aire en el laboratorio, la graduación de los agregados calizos deben pasar por el tamiz 20,0 mm y serán retenidos por el tamiz 5,0 mm.

#### 1.4.5.10.-ALMACENAJE Y ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS.

Este describe la capacidad de la emulsión asfáltica para permanecer como una dispersión uniforme durante el almacenaje, esto es aplicable a emulsiones asfálticas compuestas de una base asfáltica líquida o semi-sólida, agua y un agente emulsificante.

Este método determina la diferencia del contenido asfáltico de muestras tomadas de la parte superior e inferior del material ubicado en un lugar de almacenaje sin ser perturbada por 24 horas. Éste es usado para determinar en corto tiempo la estabilidad de almacenaje de la emulsión asfáltica.

Se utilizarán para este ensayo dos cilindros de vidrio de 500 ml, con base ajustable con tapones de vidrio o corcho u de otro material pero que los selle herméticamente que tenga un diámetro externo de  $50 \pm 5$  mm y graduación de 5 ml, pipeta de 60 ml, un sifón, una balanza y un horno.

### Procedimiento

Se lleva la emulsión asfáltica a una temperatura de 20 °C mas o menos, se coloca una muestra de 500 ml en cada cilindro de vidrio, se tapa y se deja sin perturbar la muestra por 24 horas en el laboratorio. Después de este periodo se extraen 55 ml de la parte superior sin alterar la muestra. Se pesan 50 g mas o menos de cada muestra de un vaso, este debe estar tarado con una varilla de vidrio cada uno, enseguida se lleva al horno a una temperatura de 163 °C mas o menos por dos horas después de este tiempo se saca y se revuelve todo el contenido, luego se meten al horno nuevamente por 1 hora y posteriormente dejar secar a temperatura ambiente y se debe pesar con la varilla incluida, después de quitar la muestra por la parte superior saque aproximadamente con un sifón cerca de 390 ml de cada cilindro. Se mezcla los remanentes de la emulsión en un solo recipiente y se pesan 50 g en un vaso de aluminio o vidrio de 600 ml o más los cuales deben ser pesados. Así se puede determinar el residuo asfáltico de estas muestras.

### Cálculos

Se calcula la capacidad de almacenaje como la diferencia numérica entre el promedio de los porcentajes de residuos asfálticos encontrados en las dos muestras de la parte superior de inferior.

### Precisión

*Repetibilidad.* La desviación normal de la repetibilidad es de 0,2 % y el criterio que será usado para juzgar la aceptabilidad es el siguiente: la probabilidad de los resultados no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran de una cantidad mayor a la indicada que es de 0,5 %

*Reproducibilidad.* La desviación normal de la reproducibilidad es de 0,2 y serán considerados dudosos los resultados si difieren en mas de 0,6 %.

## DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO DE LAS EMULSIONES

El almacenamiento que requiera la emulsión asfáltica antes de su uso, se realizará en tanques cilíndricos verticales, con tuberías de fondo para carga y descarga, las cuales deberán encontrarse en posiciones diametralmente opuestas. Los tanques tendrán bocas de ventilación para evitar que trabajen a presión y contarán con los aparatos de medida y seguridad necesarios para garantizar su correcto funcionamiento, situados en puntos de fácil acceso.

Deberán, además, estar provistos de elementos que permitan la recirculación de la emulsión, cuando ésta deba almacenarse por tiempo prolongado.

Todas las tuberías usadas para el traslado de la emulsión del carro tanque al tanque de almacenamiento y de éste al equipo de empleo, deberán estar dispuestas de manera que se puedan limpiar fácilmente después de cada aplicación o jornada de trabajo.

### 1.5.- EMULSION ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS

#### DESCRIPCION

Esta especificación se refiere al suministro de una emulsión asfáltica modificada con polímeros, de tipo catiónico y características de rotura apropiadas, en el sitio de ejecución de riegos de liga, tratamientos superficiales, lechadas asfálticas y mezclas abiertas en frío, construidos de acuerdo con lo establecido en la especificación correspondiente al ítem en ejecución y conforme a las exigencias de la presente especificación.

## MATERIALES

### Material bituminoso

El material bituminoso por suministrar será una emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros, cuyas características de rotura dependerán del ítem del cual vaya a formar parte.

### Depósitos de almacenamiento

El almacenamiento que requiera la emulsión asfáltica modificada con polímeros, antes de su uso, se realizará en tanques cilíndricos verticales, con tuberías de fondo para carga y descarga, las cuales deberán encontrarse en posiciones diametralmente opuestas.

Los tanques tendrán bocas de ventilación para evitar que trabajen a presión y contarán con los aparatos de medida y seguridad necesarios para garantizar su correcto funcionamiento, los cuales se encontrarán en puntos de fácil acceso.

Deberán, además, estar provistos de elementos que permitan la recirculación de la emulsión, cuando ésta deba almacenarse por tiempo prolongado.

Todas las tuberías usadas para el traslado de la emulsión del carro tanque al tanque de almacenamiento y de éste al equipo de empleo, deberán estar dispuestas de manera que se puedan limpiar fácilmente después de cada aplicación y/o jornada de trabajo.

El empleo de la emulsión asfáltica modificada con polímeros en la elaboración de riegos de liga, tratamientos superficiales, lechadas asfálticas y mezclas abiertas en frío, se hará conforme se establece en la especificación correspondiente a la partida de trabajo de la cual formará parte.

## PARTE II MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES Y FRIAS

### CAPITULO 2.- DISEÑO DE LA MEZCLA

#### 2.1- DESCRIPCION

El diseño de la mezcla asfáltica es uno de los pasos importantes para obtener un buen asfalto ya que de este paso depende que nuestro resultado final sea el optimo y el deseado para una buena pavimentación.

En el caso del diseño entran en juego varios elementos en los que hay que tener especial dedicación para obtener un buen asfalto o cemento asfáltico, entre los elementos que están en juego por supuesto la emulsión y los pétreos, y por supuesto el método de elaboración que eso lo veremos mas adelante.

El objetivo de un diseño de mezcla asfáltica en caliente es desarrollar una mezcla económica de agregados y asfalto que cumpla con las necesidades especificadas para cada pavimento.

La mezcla asfáltica la constituye el material pétreo convenientemente recubierto con una película de asfalto y luego sometida a un proceso de compactación, que hace que esta mezcla tenga propiedades resistentes al desgaste producido por los vehículos y a su vez pueda traspasar la sollicitación del peso de ellos hacia abajo absorbiendo una cantidad apreciable de esta sollicitación.

El espesor de la película de asfalto que recubre cada partícula de material pétreo tiene una influencia determinante en los dos criterios más importantes que regulan el comportamiento de las mezclas estos son: la estabilidad y la durabilidad.

Mientras más delgada sea la película de asfalto, menor será la estabilidad de la mezcla. A medida que esta película se engruesa el asfalto tiende a cohesionar el pétreo, pasando por un óptimo y luego luce un efecto lubricador.

El espesor de película de asfalto que recubre el agregado pétreo es un factor importante que regula el comportamiento de las mezclas a través de los parámetros de estabilidad y durabilidad.

Una mezcla asfáltica debe tener propiedades resistentes al desgaste producido por los vehículos y debe poder traspasar las sollicitaciones del peso de ellos hacia abajo, absorbiendo una cantidad apreciable de ésta, para lo cual el agregado pétreo debe encontrarse recubierto con una película de asfalto lo suficientemente conveniente para ser sometida al proceso de compactación sin ser alterada.

El aporte del material pétreo a la estabilidad de una mezcla asfáltica lo efectúa a través de su fricción y ésta a su vez es función del tamaño del árido y de la rugosidad de sus caras, ya que mientras mas rugosidad tengas sus caras mejor va a ser la adherencia del asfalto al pétreo.

El objetivo de obtener un buen balance entre estabilidad y durabilidad implica una mezcla más económica.

También es importante considerar en el diseño de una mezcla la trabajabilidad e impermeabilidad.

Una mezcla deberá ser totalmente impermeable para no permitir el paso del agua hacia las capas inferiores y de esta forma evitar el que estas capas pierdan capacidad de soporte.

Por otro lado no se puede tener una mezcla 100% impermeable puesto que esto lleva a no tener huecos en ésta, lo que implicaría que al dar a tránsito la mezcla no podría absorber la consolidación producto del amasado del tránsito, desplazando asfalto hacia la superficie tornándolo resbaladizo.

También es importante que la mezcla sea diseñada de manera que pueda ser colocada con facilidad, evitando segregaciones de ésta, es decir debe tener una buena trabajabilidad.

Previo al diseño de la mezcla se deben analizar tanto los agregados como el asfalto para decidir si son aptos para la construcción del pavimento.

## 2.2- Cemento Asfáltico.

El cemento asfáltico es un tipo de asfalto que se utiliza en la pavimentación de carreteras. Por ser un material termoplástico (posee un comportamiento rígido a bajas temperaturas o dúctil a temperaturas altas) la acción del calor lo vuelve suficientemente fluido para cubrir en forma completa a los áridos y lograr una buena trabajabilidad entre ellos. Una vez enfriada, alcanzará la resistencia necesaria para responder ante las sollicitaciones de tráfico.

El asfalto confiere las siguientes propiedades a la mezcla:

**Poder Cohesivo:** la cohesión del asfalto proporcionado a la mezcla permite resistir los esfuerzos abrasivos del tráfico. Las cargas presentes en el pavimento, fijas o variables, generan un proceso de deterioro en los materiales asfálticos, el cual se puede disipar a través de la deformación elástica, plástica o en la fisuración que pueda sufrir el material.

**Susceptibilidad Térmica:** el comportamiento mecánico del asfalto cambia según la temperatura y la duración de la carga aplicada. Puede tener una respuesta frágil a bajas temperaturas y lapsos cortos de carga. A temperaturas medias y tiempos moderados de aplicación de cargas, la respuesta del material pasa a ser viscoelástica, volviéndose un material con baja consistencia a temperaturas altas.

**Adhesividad:** corresponde a la resistencia a la falta de envoltura que opone el asfalto ante la acción del agua.

**Envejecimiento:** esta propiedad está relacionada con el envejecimiento al cual está sometido constantemente el asfalto. El envejecimiento aparece producto de la acción del calor, del aire y de los rayos ultravioletas que provocan oxidación al asfalto tornándolo más frágil.

En general, el cemento asfáltico debe cumplir con ciertas especificaciones como requisito para ser empleadas en la confección de mezclas asfálticas. Para

verificar si estos requisitos se cumplen, los materiales se someten a una serie de ensayos, los que se describen en el punto siguiente de esta investigación.

### 2.2.1.- ENSAYES PARA LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS.

#### 2.2.1.a.-ENSAYE DE VISCOSIDAD.

(LNV 40 of. 84. Norma AASHTO T 201-T202 of. 76).

El objetivo del ensaye de viscosidad es determinar el estado de fluidez del asfalto, a temperaturas de 60°C (temperatura máxima promedio a que se encuentran expuestas las superficies pavimentadas con asfalto en Estados Unidos) y a 135°C (temperatura próxima a la cual se efectúan las mezclas y aplicaciones de los cementos asfálticos).

La viscosidad o consistencia del cemento asfáltico se especifica, ya sea para la viscosidad absoluta o viscosidad cinemática. Para bajas temperaturas (60°C por ejemplo) la viscosidad se mide con viscosímetros capilares de vidrio del tipo vacío. La viscosidad de un cemento asfáltico a altas temperaturas, usualmente 135°C, se mide con viscosímetros capilares de flujo inverso.

La base de este ensayo es medir el tiempo necesario para que un volumen fijo de líquido fluya a través del capilar de un viscosímetro capilar calibrado bajo una carga de presión reproducible con exactitud y temperatura cuidadosamente controlada.

Para determinar la viscosidad absoluta (a 60°C) se debe precalentar el asfalto e introducirlo en la boca ancha del viscosímetro hasta el nivel de la línea de llenado.

El viscosímetro viene montado sobre un baño controlado por un termostato para mantener la temperatura constante. Una vez alcanzada la temperatura de 60°C, se aplica un vacío al sistema (debido a la alta viscosidad del material) para que fluya el cemento asfáltico. Con el tiempo de escurrimiento medido en segundos y

multiplicándola por el factor de calibración del viscosímetro es posible calcular la viscosidad absoluta del material. Es común dejar expresado los resultados de la viscosidad absoluta en unidades de viscosidad "Poises".

Para determinar la viscosidad cinemática (a 135°C) se utiliza otro tipo de viscosímetro (de flujo inverso). El método que se utiliza es el mismo que el anterior, con la diferencia que el sistema debe estar a una temperatura de 135°C y sólo basta aplicar una pequeña presión positiva en la boca ancha del viscosímetro para forzar al asfalto a fluir por el sifón libremente bajo la acción de la fuerza gravitacional solamente, ya que el grado de fluidez es mucho mayor por su baja viscosidad a esta temperatura. El tiempo que demora en escurrir el asfalto entre dos marcas, multiplicado por el factor de calibración entrega como resultado la viscosidad cinemática, directamente en unidades centiStokes.

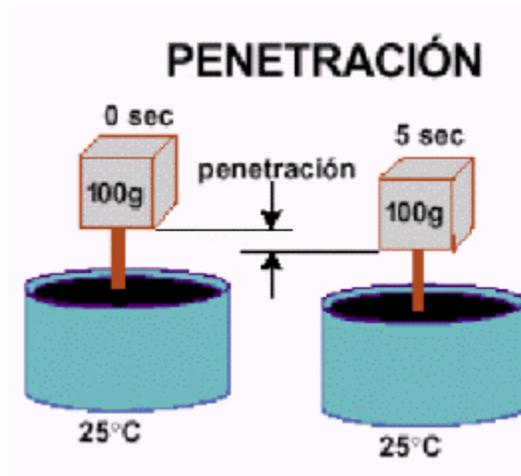
En ambos casos anteriores, cada viscosímetro es calibrado por medio de la utilización de un aceite estándar, desarrollándose así un "factor de calibración" para cada uno de ellos. Lo usual es que cada viscosímetro venga calibrado de fábrica.

#### 2.2.1.b.- ENSAYE DE PENETRACIÓN.

(LNV 34 of. 84. Adaptación de la norma AASHTO T 49 of. 80).

Este ensayo mide la dureza o consistencia del asfalto. Sirve para clasificar el cemento asfáltico en distintos grados de penetración.

El procedimiento para medir la penetración consiste en calentar una muestra de cemento asfáltico a 25°C en un baño termostáticamente controlado. Una aguja normalizada de 100 gramos se hace penetrar en la superficie de la muestra. La penetración corresponde a la distancia en unidades de 0.1 mm que la aguja penetra en el cemento asfáltico, durante 5 segundos

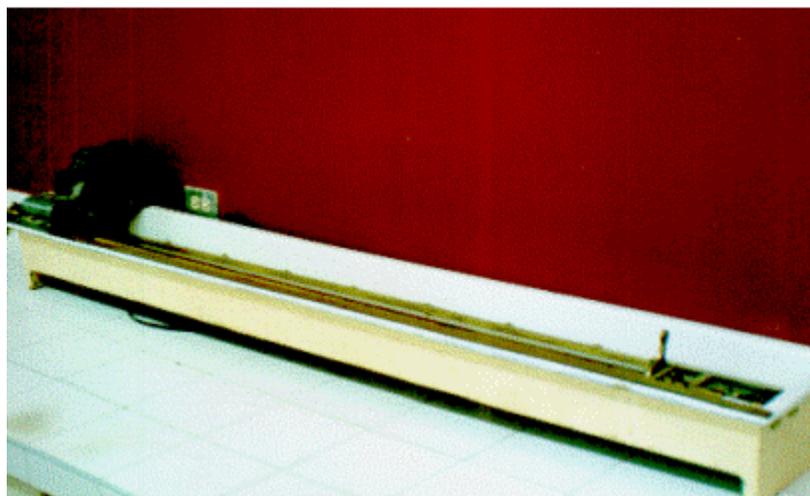


### 2.2.1.c.- DUCTILIDAD

(LNV 35 of. 84. Norma AASHTO T 51 of. 84).

La presencia o ausencia de ductilidad tiene, usualmente, mayor importancia que el grado de ductilidad existentes. Los asfaltos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes. Por otra parte, asfaltos con un ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura.

El ensayo consiste en moldear en condiciones y con dimensiones normalizadas de ensayo y se someter a alargamiento con una velocidad especificada hasta que el hilo que une los dos extremos se rompa. Normalmente, el ensayo se realiza a una temperatura de 25' C y una velocidad de alargamiento de 5 cm/min. La ductilidad se mide en un equipo llamado ductilímetro. La longitud(en cm) a la que el hilo del material se rompe define la ductilidad.



#### 2.2.1.d.- ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA.

(LNV 32 of. 84. Norma AASHTO T 179 of. 76).

Éste es un procedimiento que somete a la muestra de asfalto a condiciones de endurecimiento que se aproximan a las que ocurren normalmente en las operaciones de mezcla en planta. Por lo tanto, mide el endurecimiento o posible envejecimiento del cemento asfáltico producto del efecto del calor, aire y proceso de mezclado.

El ensayo en sí consiste en colocar 50 gramos de cemento asfáltico sobre un platillo de 140 mm de diámetro y 10 mm de profundidad. La capa de asfalto es cercana a los 3 mm de espesor. La muestra y el recipiente se colocan en un horno ventilado a 163°C sobre un eje que gira entre 5 a 6 revoluciones por minuto, durante 5 horas. Luego, la muestra se saca y se somete a los ensayos de penetración y ductilidad, comparando estas medidas con las originales.

#### 2.2.1.e.- ENSAYO EN HORNO DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA

(LNV 33 of. 84. Adaptación de la norma AASHTO T 240 of. 78).

El propósito de este ensayo es el mismo que el de Película Delgada, pero aplicado a materiales asfálticos que están en constante movimiento para ser medidos en forma rutinaria, lo que hace que los equipos y procedimientos de ensaye sean diferentes.

El procedimiento consiste en colocar una cantidad específica de cemento asfáltico en un frasco y ponerlo en un sistema que gira a una velocidad determinada en torno a un eje horizontal, todo dentro de un horno especial a una temperatura de 163°C. En cada rotación el orificio del frasco pasa frente a un flujo de aire.

Este ensaye permite acondicionar un mayor número de muestras que el de Película Delgada. Luego de este ensaye se determina la ductilidad y viscosidad absoluta del cemento asfáltico.



#### 2.2.1.f.- ENSAYE DE SOLUBILIDAD.

(LNV 37 of. 84. Norma AASHTO T 44 of. 78).

Este ensayo consiste en medir la pureza del cemento asfáltico. La muestra de cemento asfáltico que es soluble en tricloroetileno representa los constituyentes cementantes. La materia inerte, sales, carbón libre u otros contaminantes inorgánicos son insolubles.

La solubilidad es un proceso de disolución de 2 gramos de asfalto en 100 ml de solvente para separar la materia insoluble, reteniéndola al filtrar. Se determina la cantidad de material retenido en el filtro y se expresa como un porcentaje, en peso, de la muestra original.

#### 2.2.1.g.- ENSAYE DE LA MANCHA.

(LNV 25 of. 84. Norma AASHTO T 102 of. 82).

Este ensayo permite determinar la razón de los constituyentes del asfalto, asfaltenos/maltenos importantes en el comportamiento de los asfaltos (asfaltenos dan color y dureza al asfalto, maltenos otorgan el valor cohesivo).

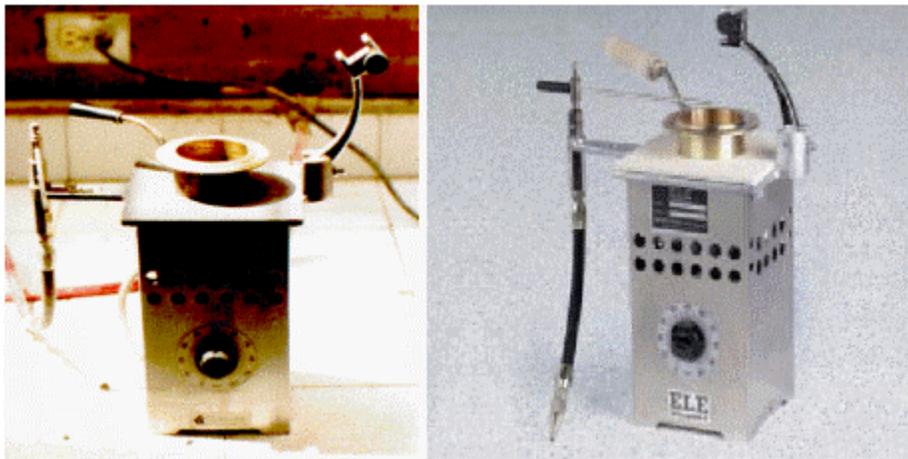
En este ensayo se toman 2 gramos de cemento asfáltico y se prepara una mezcla de 10.2 ml de Xilol/Heptano en distintas proporciones. La muestra se coloca en un baño de agua en ebullición hasta producir la disolución total del asfalto.

Enseguida se saca del baño, se deja reposar durante 30 minutos; una vez cumplidos se coloca en un baño a 32°C durante 15 minutos. Finalmente, se agita con una varilla y se deja caer una gota sobre un papel filtro y se observa la mancha que deja. Si la gota deja una mancha circular café con un núcleo oscuro se informa como positiva. Si corresponde a una mancha café circular uniforme se informa como negativa.

#### 2.2.1.h.- PUNTO DE INFLAMACIÓN

(LNV 36 of. 84. Norma AASHTO T 48 of. 78).

El punto de inflamación o punto de chispa, indica la temperatura a la que puede calentarse el material, sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura, usualmente, es muy inferior a aquella a la que el material ardería o su punto de fuego. Por lo tanto, éste análisis sirve como prueba de seguridad en la operación de las plantas asfálticas en caliente. El punto de inflamación se mide por el ensayo en copa abierta Cleveland.



#### 2.2.2.- Requisitos para la Especificación de un Cemento Asfáltico.

A continuación, se presenta la tabla que muestra los requisitos de especificación que deben cumplir los asfaltos tradicionales chilenos con un rango de penetración 60-80.

Requisitos para los Asfaltos Tradicionales. Rango de Penetración 60-80.

Ensaye sobre Asfalto Original	Especificaciones	
	Mínima	Máxima
Penetración 25°C, 100g, 5s (dmm)	60	80
Ductilidad 25°C, 5cm/min (cm)	100	-
Solubilidad en Tricloroetileno (%)	99	-
Ensayo de la Mancha (a):		
- Nafta/Estándar	negativa	
- Nafta/Xilol	negativa	
- Heptano/Xilol	negativa	
Índice de Penetración	-1	+1
<b>Ensaye sobre Residuo de Película Delgada</b>		
Pérdida por Calentamiento (%)	-	0.8
Penetración (% del original)	54	-
Ductilidad 25°C, 5 cm/min (cm)	50	
<b>Ensaye sobre Residuo de Película Delgada Rotatoria</b>		
Ductilidad 25°C, 5cm/min (cm)	100	-
Índice de Durabilidad, ID: media móvil de 3 valores (b)	-	3.5
<b>Notas:</b>		
(a) Ensayo Opcional, sujeto a criterios del LNV.		
(b) Índice de Durabilidad = $\frac{\text{Viscosidad Absoluta a } 60^{\circ}\text{C (RPDR)}}{\text{Viscosidad Absoluta a } 60^{\circ}\text{C (Original)}}$		

### 2.3.- LOS AGREGADOS PÉTROS

Los agregados deben ser limpios, tenaces y durables y lo más importante deben tener una granulometría de acuerdo a especificación. Las especificaciones generales que deben cumplir con las siguientes características que se detallaran mas adelante con mayor dedicación nombrando ensayos y normas:

- Granulometría
- Resistencia al Desgaste
- Solidez
- Limpieza y pureza
- Rozamiento Interno
- Propiedades superficiales

### 2.3.1.- Granulometría:

Granulometría, es la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un agregado pétreo, para tal efecto se tiene una serie de tamices normalizados (normado por la L.N.V. 65)

Respecto del tamaño se definen dos conceptos importantes:

- Tamaño máximo absoluto
  - Tamaño máximo nominal
- 
- Tamaño máximo absoluto: Corresponde a la abertura del menor tamiz normalizado que deja pasar el 100 % de la masa del material pétreo.
  - Tamaño máximo nominal: Es el tamiz menor que TMA que deja pasar el 90 % o más de la masa de material pétreo. Cuando pasa menos de 90 % significa que TMA= TMN

El tamaño máximo de las partículas influye en el grado de trabajabilidad, mientras mayor sea el tamaño máximo del agregado en relación con el espesor de la capa y mayor sea la cantidad de agregado grueso, más difícil es compactar la mezcla, mas aún si el tamaño máximo nominal del agregado excede la mitad del espesor compactado de la capa, pues se puede ver afectada la textura de la mezcla y reducir el grado de compactación.

El uso de cada banda depende del tipo de carpeta a diseñar y sus exigencias se señalan en el Manual de Carreteras.

## GRANULOMETRIA DE MATERIALES PARA TRATAMIENTOS

### SUPERFICIALES

TAMICES mm (ASTM)	TN 25 - 12,5	TN 20 - 10	TN 12,5 - 5	TN 10 - 2,5	TN 5 - 2,5	TN 20 - 12,5a	TN 20 - 12,5b	TN 10 - 6,3a	TN 10 - 6,3b
40 (1 1/2")	100								
25 (1")	90 - 100	100							
20 (3/4")	20 - 55	90 - 100	100			100	100		
12,5 (1/2")	0 - 10	20 - 55	90 - 100	100		85 - 100	95 - 100		
10 (3/8")	0 - 5	0 - 15	40 - 70	85 - 100	100	0 - 20	0 - 20	100	100
6,3 (1/4")	---	---	---	---	---	0 - 7	0 - 5	95 - 100	85 - 100
5 (Nº 4)	---	0 - 5	0 - 15	10 - 30	85 - 100	---	---	0 - 40	0 - 25
2,5 (Nº 8)	---	---	0 - 5	0 - 10	10 - 40	---	---	0 - 5	0 - 10
1,25 (Nº16)	---	---	---	---	---	0 - 1	---	---	0 - 1
0,8 (Nº 200)	0 - 0,5	0 - 0,5	0 - 0,5	0 - 0,5	0 - 0,5	---	0 - 1	0 - 1	---
						0 - 0,5	0 - 0,5	0 - 0,5	0 - 0,5

Tipo de granulometría de acuerdo a cada capa del pavimento.

Tipos de Granulometría	Tipo de Capa
Densa	Rodadura
Semiabierta	Binder y base
abierta	base

Para capas de rodado es conveniente utilizar granulometrías densas, ya que influyen en la estabilidad y durabilidad de las mezclas asfálticas, por ser partículas pequeñas que se encargan de llenar los huecos que dejan los tamaños más grandes. Así, se obtiene una capa de rodado más cerrada.

Por lo tanto, las mezclas asfálticas pueden estar constituidas por distintos tipos de granulometrías y distintos tipos de asfaltos. Existen varias bandas granulométricas para mezclas bituminosas, pero sólo se nombrarán las que más se utilizan para conseguir mezclas asfálticas semicerradas o cerradas.

Las mezclas de granulometrías densas, gruesas y finas deberán cumplir con lo indicado en las siguientes tablas

## REQUISITOS PARA MEZCLAS ASFALTICAS

TIPO DE MEZCLA ASFALTICA	ESTABILIDAD (N) (E)		FLUENCIA (mm)		HUECOS EN LA MEZCLA (%)		HUECOS LLENOS CON ASFALTO (%) Mín.
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín	Max.	
Superficie (Densa)	9.000	14.000	0,25 x E(KN)	0,34 x E(KN) +0,76	3	5	70
Intermedia	8.000	12.000	0,25 x E(KN)	0,34 x E(KN) +0,76	3	8	60
Base Gruesa	6.000	9.000	0,25 x E(KN)	0,34 x E(KN) +0,76	5	10	50
Superficie (Fina)	4.000	7.000	0,25 x E(KN)	0,34 x E(KN) +0,76	3	8	60

## 2.3.2.- Resistencia al Desgaste:

Durante el proceso de elaboración colocación y compactación de la mezcla asfáltica el agregado pétreo está sujeto a rotura y a un desgaste por abrasión, el tránsito también causa abrasión. Por tanto el agregado debe tener la propiedad de resistir cierto nivel de trituración, degradación y desintegración.

Las mayores exigencias de desgaste se encuentran en la superficie del pavimento donde se concentran los mayores esfuerzos mecánicos. En las capas inferiores debido a que las cargas no son tan concentradas la calidad del agregado puede disminuir.

Algunos de los controles para medir esta propiedad son:

- Ensaye de desgaste los Ángeles
- Trituración de Gravas y Arenas
- Desintegración mediante sulfato

2.3.2.a.- Ensaye de Desgaste de los Pétreos mediante la Máquina de los Ángeles.

(LNV 75 of.84. Adaptación de la norma NCh 1369 of.78).

Este ensaye determina la resistencia al desgaste de los pétreos mayores a 2.5 mm, de densidad neta entre 2000 y 3000 Kg/m<sup>3</sup> mediante la máquina de los Ángeles.

La máquina de los Ángeles consiste en un tambor de acero de  $710 \pm 6$  mm de diámetro interior y de  $510 \pm 6$  mm de longitud interior montado horizontalmente por sus vástagos axiales con una tolerancia de inclinación de un 1%. En su manto cilíndrico posee una abertura para introducir la muestra. El tambor posee una rotación comprendida entre 30 y 33 revoluciones por minuto y debe estar contrapesada e impulsada de modo de mantener una velocidad periférica uniforme, puesto que deslizamientos o puntos muertos en el mecanismo de impulsión pueden alterar los resultados de ensaye, los que no son comparables con resultados obtenidos de una máquina con velocidad periférica uniforme.

El procedimiento de ensaye consiste primero en determinar la granulometría original de la muestra mediante tamizado dejándola separada en fracciones según los tamices de aberturas nominales siguientes: 80 mm, 63 mm, 50 mm, 40 mm, 25 mm, 12.5 mm, 10 mm, 6.3 mm, 5 mm, 2.5 mm. Luego, se debe elegir de la siguiente tabla el grado de ensaye más aproximadamente coincidente con la granulometría original de la muestra, o sea, la que permita representar la mayor proporción del material original.

Una vez realizado el ensayo se calcula el desgaste del pétreo grueso como un porcentaje de pérdida de masa de la muestra de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$P = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100\%$$

en que:

P : pérdida de masa de la muestra, %.

$m_i$ : masa inicial de la muestra, g.

$m_f$ : masa final de la muestra, g.

Grados de Ensaye para Desgaste Los Ángeles. (Definidos por sus tamaños límites, en mm).



### 2.3.2.b.- Ensaye de Desintegración por medio de Sulfato de Sodio.

(LNV 74 of.84. Adaptación de la norma NCh 1328 of.77).

Este ensaye determina la desintegración de los pétreos mediante soluciones de sulfato de sodio. El procedimiento consiste en ensayar una muestra que corresponda al material retenido en el tamiz de 2.5 mm y que tenga un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la tabla que semuestra a continuación.

Tamaño de la Muestra de Ensaye. Pétreo Grueso.

Fracción	Tamaño de Partículas (mm)	Masa de la Subfracción (g)	Masa de la Fracción (g)
1	50 - 63	3000±300	5000±300
	40 - 50	2000±200	
2	25 - 40	1000±50	1500±50
	20 - 25	500±30	
3	12.5 - 20	670±10	1000±10
	10 - 12.5	330±5	
4	5 - 10	300±5	300±5
5	2.5 - 5	100±5	100±5

Después de obtenida la muestra, se acondiciona. Esto consiste en lavar la muestra y secar hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Luego, se tamiza para obtener las subfracciones según la tabla anterior y se pesa cada subfracción. Se componen y se pesan las fracciones requeridas y se

registra la masa inicial (mi) de cada una de ellas. Además, se cuenta y registra el número inicial de partículas (ni) de tamaño mayor que 20 mm. Cada fracción se coloca en un canastillo.

Los canastillos se sumergen con las fracciones de muestra en la solución de sulfato de sodio a una temperatura de  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$  por un período de  $17\pm 1$  hora. Luego, se sacan los canastillos y se dejan escurrir durante  $15\pm 5$  minutos y se secan hasta masa constante para finalmente enfriar a temperatura ambiente. Todo este ciclo de inmersión y secado se repite 5 veces. Después se vuelve a lavar la muestra ensayada para eliminarle todo el sulfato de sodio. Se seca y se determina la masa final de las fracciones de acuerdo al siguiente procedimiento:

a) Tamizar cada fracción de pétreo grueso por el tamiz según la siguiente tabla.

Serie de Tamices para Examen Cuantitativo.

Fracción	Tamaño de partículas de la fracción original (mm)	Tamices, tamaños nominales de abertura (mm)
1	40 - 63	25
2	20 - 40	12.5
3	10 - 20	6.25
4	5 - 10	2.5
5	2.5 - 5	2

b) Pesar y registrar la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf).

c) Examinar cualitativamente y cuantitativamente partículas mayores a 20 mm.

Observar y registrar el efecto de la acción del sulfato, como por ejemplo, la desintegración, agrietamiento, hendidura, exfoliación, desmoronamiento, etc.

d) Contar y registrar el número final de partículas (nf).

Los cálculos a realizar son los siguientes:

-Porcentaje Ponderado de Pérdida de Masa de cada Fracción:

$$P_n = \frac{m_i - m_f}{m_i} * ppr \%$$

$P_n$  : porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra, %.

$m_i$  : masa inicial de la fracción, g.

$m_f$  : masa final de la fracción, g.

$ppr$  : porcentaje parcial retenido de la fracción según el análisis granulométrico, %.

-Desintegración del Pétreo Grueso:

$$P = (P_1 + P_2 + \dots + P_n) \%$$

en que:

$P$  : porcentaje de pérdida de masa de la muestra, %.

$P_n$ : porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra, %.

-Porcentaje de Partículas mayores a 20 mm afectadas por el Sulfato de Sodio:

$$A = \frac{n_i - n_f}{n_i} * 100\%$$

en que:

$A$  : porcentaje de partículas mayores que 20 mm afectada por la acción del sulfato, %.

$n_i$  : número inicial de partículas mayores que 20 mm.

$n_f$  : número final de partículas mayores que 20 mm.

La desintegración calculada como la pérdida de masa se debe a fenómenos físico - químicos resultantes de la cristalización del sulfato.

### 2.3.2.c.- Ensayo para la determinación del Índice de Plasticidad.

(LNV 90 of.85. Adaptación de la norma NCh 1517/II-78).

Este ensayo mide el Índice de Plasticidad de los suelos a partir del “límite líquido” y el “límite plástico” mediante la siguiente expresión:

$$IP = w_l - w_P$$

donde:

IP : índice de plasticidad del suelo, %.

wL: límite líquido del suelo, %.

wP: límite plástico del suelo, %.

#### -Determinación del Límite Líquido (wL):

Se determina mediante el Método Mecánico. Este método es una adaptación de la norma NCh 1517/I-79, según LNV 89-85.

El “límite líquido” corresponde a la humedad, expresada en porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico.

La muestra de ensayo debe ser igual o mayor que 100 gramos del material que pasa por el tamiz 0.5 mm (ASTM N°40). La muestra se coloca en el plato de evaporación y se agrega agua destilada. Se combina completamente con la espátula hasta asegurar una mezcla homogénea. Enseguida, se aplica el procedimiento del Método Mecánico que consiste en:

a) Colocar el aparato de límite líquido sobre una base firme. El aparato de límite líquido corresponde a una taza de bronce montada sobre un dispositivo de apoyo fijo a una base de plástico duro con una resiliencia tal que una bolita de acero de 8 mm de diámetro, dejada caer libremente desde una altura de 25 cm rebote entre un 75%

y un 90%. El aparato, además, posee una manivela que se utiliza para levantar y hacer caer la taza.

b) Colocar una porción de suelo, que ya tenga una consistencia que requiera aproximadamente 15 a 20 golpes, en la taza de bronce en forma comprimida y extendida evitando burbujas de aire en la mezcla. Enrasar y nivelar a 10 mm en el punto de máximo espesor.

c) Colocar el aparato sobre una base firme, girar la manivela para levantar y dejar caer la taza con una frecuencia de dos golpes por segundo hasta que las paredes de la ranura entren en contacto en el fondo del surco a lo largo de un tramo de 10 mm. registrar el número de golpes.

d) Retirar aproximadamente 10 gramos del material que se junta en el fondo del surco. Colocar en un recipiente y determinar su humedad.

e) Transferir el material que quedó en la taza al plato de evaporación.

f) Repetir las operaciones anteriores por lo menos en dos pruebas adicionales empleando el material reunido en el plato de evaporación. El ensaye se debe realizar desde la condición más húmeda a la más seca. Se seca homogéneamente hasta conseguir una consistencia que requiera de 15 a 35 golpes para cerrar la ranura.

Con los valores obtenidos de humedad ( $w$ ) y número de golpes ( $N$ ), se construye un gráfico con " $w$ " como la ordenada en escala aritmética y " $N$ " como la abscisa en escala logarítmica. Se traza la mejor recta (curva de flujo) entre las pruebas realizadas y se expresa el límite líquido ( $w_L$ ) como la humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la abscisa de 25 golpes.

-Determinación del Límite Plástico ( $w_P$ ):

Este método es una adaptación de la norma NCh 1517/II-78, según LNV 90-85.

El "límite plástico" corresponde a la humedad, expresada en porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido.

La muestra de ensaye debe ser aproximadamente 20 gramos del material que pasa por el tamiz 0.5 mm (ASTM N°40). La muestra se coloca en el plato de evaporación y se agrega agua destilada. Se combina completamente con la espátula hasta asegurar una pasta plástica para moldearla como una esfera. El ensaye consiste en:

- a) Amasar una muestra de 1 cm<sup>3</sup> entre las manos y luego hacerla rodar con la palma de la mano o la base del pulgar sobre la superficie de amasado conformando un cilindro sólo con el peso de la mano.
- b) Cuando el cilindro alcance un diámetro de 3 mm, doblar, amasar nuevamente y volver a conformar el cilindro.
- c) Repetir la operación hasta que el cilindro se disgregue al llegar a un diámetro de 3 mm, en trozos de orden de 0.5 a 1 cm de largo, y no pueda ser reconstituido.
- d) Reunir las fracciones del cilindro disgregado y colocarlas en un recipiente tarado.

Determinar la humedad (w)-

Con el valor de humedad en el límite plástico y el valor de humedad en el límite líquido, se está en condiciones de determinar el índice de plasticidad del agregado fino, mediante la fórmula entregada al inicio de la descripción de este ensayo.

### 2.3.3.- Solidez:

Los agregados usados en los pavimentos asfálticos no se deben disgregar bajo la acción de los agentes atmosféricos. Para ello se debe realizar el "Ensayo de los sulfatos".

#### 2.3.4.- Limpieza y pureza:

Algunos agregados contienen sustancias extrañas que los hacen inadecuados para su uso en pavimentos. Se especifican límites de impurezas en el agregado para permitir su uso en pavimentos. Algunos ejemplos típicos de impurezas en el agregado son:

- Materia orgánica
- Terrones de arcilla
- Arcilla adherida al pétreo
- Sales solubles
- etc.

Controles típicos para la detección de contaminantes en el agregado pétreo son:

- Granulometría seca y húmeda
- Equivalente de arena
- Determinación de sales solubles
- Determinación de materia orgánica
- Índice de Plasticidad.

#### 2.3.5.- ROZAMIENTO INTERNO:

Es una propiedad importante de los áridos, ya que tiende a impedir el desplazamiento de las partículas bajo la acción de una carga. Esta se debe al roce y a la trabazón de las partículas de agregados. Su influencia se refleja en los valores que se obtienen del ensayo de estabilidad Marshall del cual detallaremos más adelante.

#### 2.3.6.- ABSORCION:

El agregado pétreo posee una cierta porosidad, la forma de medir esta porosidad es usando agua expresándola en tanto por ciento. La porosidad es un factor importante a considerar en el diseño de pavimentos asfálticos, un exceso de

porosidad afectará en forma negativa las cualidades del pavimento ya que disminuirá el asfalto entre partículas y por lo tanto habrá menos asfalto como ligante; además aumentará los costos de fabricación del pavimento debido al aumento de asfalto necesario para la confección de la mezcla

#### 2.3.7.-AFINIDAD CON EL ASFALTO

Un agregado puede ser más o menos resistente a la separación de la película de ligante asfáltico por acción del agua, el descubrimiento, separación de la película de asfalto del agregado por acción del agua puede implicar que un material no sea conveniente para ser usado en pavimentación, estos materiales son conocidos como hidrofílicos. Los agregados síliceos como la cuarcita y algunos granitos son un ejemplo de este problema.

Los agregados que exhiben un alto grado de resistencia al descubrimiento de la película asfáltica en presencia de agua son usualmente los más convenientes.

También es posible comparar la resistencia de una probeta compactada de asfalto sumergida en agua con otra sin sumergir. La reducción de resistencia es un índice de calidad.

#### 2.4.-Polvo Mineral (filler)

El filler deberá estar constituido por polvo mineral fino tal como cemento hidráulico, o de preferencia polvo de roca, libre de materia orgánica y partículas de arcilla. Se deberá utilizar según se requiera en la confección de las mezclas, debiendo ajustarse a la granulometría que se señala en la siguiente tabla:

## GRANULOMETRIA DEL FILLER

TAMICES		% QUE PASA EN PESO
(NCh)	(ASTM)	
0,630 mm	(N° 30)	100
0,315 mm	(N° 50)	95 – 100
0,080 mm	(N° 200)	70 – 100

### 2.5.- Propiedades superficiales:

Para que un pavimento asfáltico resulte resistente y durable es necesario que los asfaltos se adhieran bien a los agregados pétreos. Para ello se debe realizar el “Ensaye de Adherencia” para agregado / bitumen, el cual se evalúa visualmente como mayor o menor a 95% de área recubierta con asfalto.

(LNV 9 of.84. Adaptación de la norma AASHTO T 182).

En primer lugar podemos indicar que las capas de asfalto que siguen a la capa que sirve de rodaduras si están sometidas a oxidación, no hay oxígeno, o su oxidación es sumamente lenta, por lo cual se pueden usar películas delgadas para recubrir los pétreos, dependiendo ellas prácticamente sólo de su estabilidad.

Así mismo podemos indicar que la influencia del tamaño de los pétreos es inversamente proporcional a su área superficial específica y ésta a su vez es directamente proporcional a la cantidad de asfalto a usar con una mezcla determinada. Materiales finos presentan mayor área específica, por lo tanto mayor superficie a recubrir con asfalto. Como conclusión diremos que al usar materiales finos se necesita más asfalto que al usar materiales más gruesos en la preparación de una mezcla asfáltica.

El aporte del material pétreo a la estabilidad de una mezcla asfáltica lo efectúa a través de su fricción interna y ésta a su vez es función del tamaño del árido y de la rugosidad de sus caras.

Por lo que también podemos decir que mezclas asfálticas con materiales gruesos y de caras angulosas tendrán mejor estabilidad que mezclas con materiales más finos.

Las mezclas asfálticas deben ser en lo posible totalmente impermeables, de manera que el agua superficial no pueda atravesar hacia las capas inferiores, evitando con ello que éstas puedan perder capacidad de soporte.

La impermeabilización más perfecta se consigue eliminando todos los huecos en una mezcla pero esta solución no es posible ya que las mezclas deben consultar un cierto porcentaje de hueco para absorber la consolidación producto del amasado del tránsito. De no consultarse la existencia de estos huecos, la mezcla al recompactarse desplazaría asfalto hacia la superficie, llegando a formar una película de asfalto en ella, tomándolo resbaladizo.

Normalmente, se debe dejar para mezclas de superficie de rodado entre 3% y 5% de huecos en la mezcla ya compactada, esto por el problema del tránsito por el que siempre va a estar haciendo de compactador, y el problema del agua el no permitirle el paso hacia la subbase o base y que no ocurran asentamientos como es en algunos casos lo que sucede con el hormigón.

Por último diremos que una mezcla debe ser diseñada de manera que pueda colocarse con facilidad, evitando que se produzcan segregaciones, o sea, debe tener buena trabajabilidad.

Las capas granulares (base y sub-base) tienen las funciones de: absorber parte de las cargas transmitidas por los vehículos y repartir parte de estas cargas a las capas inferiores; proporcionar una superficie uniforme y perfectamente terminada de apoyo a las capas asfálticas; uniformar el soporte de los suelos de subrasante; servir como capas de drenaje al pavimento; sirven para controlar los cambios de volumen perjudiciales que pudieran ocurrir en los materiales de subrasante; controlar la ascensión capilar del agua proveniente de napas o de otro origen, protegiendo así

al pavimento del fenómeno de hinchamiento producido en algunos suelos por efecto de la humedad.

La carpeta asfáltica debe impermeabilizar la superficie del camino; dar cohesión a los materiales granulares, lo que implica no solo dotar de resistencia al desgaste sino que aportar resistencia mecánica, permitiendo disminuir su espesor. A su vez, la capa asfáltica puede dividirse en tres subcapas: base asfáltica, bínder (o capa intermedia) y carpeta de rodado. Éstas difieren en granulometría y cantidad de asfalto. La última es la capa estructural de terminación del pavimento, debe otorgar la fricción requerida y debe resistir el desgaste producto del tráfico y servir de impermeabilizante para las capas inferiores. La base suele ser más abierta y más gruesa que el bínder.

El tráfico que soportará el camino durante su vida útil, las características climáticas, el suelo de fundación, entre otros, determinan normalmente el espesor de cada capa. Cualquiera sea el espesor hay que tener en cuenta que son los áridos los que transmiten las cargas y el asfalto solo sirve de ligante e impermeabilizante.

#### 2.5.a.- DETERMINACION DE LA ADHERENCIA DE AGREGADO – BITUMEN MEDIANTE CARBONATO DE SODIO (RIEDEL – WEBER)

Este ensaye se ocupa para determinar el grado de adherencia de una película de bitumen con el agregado pétreo mediante el uso del carbonato de sodio.

Se somete una muestra de agregado previamente acondicionada con bitumen a ebullición con agua destilada durante 1 minuto, si no se produce despegue, la mezcla se somete a ebullición con soluciones de carbonato de sodio, de concentración creciente, tratando de producir el despegue total.

Para este ensaye se ocuparan los siguientes elementos: tamices de 0,63 mm (N° 30), 0,16 mm (N° 100) y 0,08 (N° 200); tubos de ensaye, pinza de madera,

mechero Bunsen, un cronometro, probetas de 100 cm<sup>3</sup>, bandejas, balanza analítica de precisión y horno.

El tamaño de la muestra será de alrededor de los 200 g, se tamiza la muestra por vía húmeda por tamiz de 0,08 mm, se seca la muestra hasta masa constante en horno y se deja enfriar a temperatura ambiente, se obtiene una fracción de la muestra una vez traspasado el tamiz 0,63 mm y el que queda retenido en el tamiz de 0,16 mm descartando el resto de la muestra.

### PROCEDIMIENTO

Se prepara la muestra en una proporción de 71 volúmenes de arena con 29 de bitumen.

Cemento asfáltico: la mezcla con el cemento asfáltico se hace a 110 °C mas o menos, y se deja enfriar por 1 hora a temperatura ambiente. Posteriormente se toman 5 g de la mezcla, se colocan en un tubo de ensaye, se le agregan 6 cm<sup>3</sup> de agua destilada y se lleva a ebullición agitando durante 1 minuto, una vez terminada la ebullición se llena el tubo con agua se agita y se observa que condición tiene, hay despegue total cuando los granos se mantienen desunidos y no se adhieren.

Hay despegue parcial si los granos desunidos pegan aun entre sí. Se podrá verificar el despegue vertiendo en un vidrio reloj el contenido del tubo de ensaye, previamente agitado en agua, si las el despegue no es total las partículas permanecerán en el fondo en caso contrario se despegaran y podrán ser arrastradas por el vidrio reloj lo cual permitirá que sean examinadas. Para medir el grado de adherencia se toma en cuenta solamente las partículas del agregado y no el bitumen.

Si en el ensaye preliminar muestra que la adherencia es buena, lo que quiere decir que no hay despegue con el agua, se hace hervir durante 1 minuto 0,5 g de muestra con 6 cm<sup>3</sup> de solución de Carbonato de Sodio de concentración creciente hasta lograr el despegue total; tomando en cuenta que la concentración de la solución nos dará el grado de adherencia. Las anotaciones se harán de acuerdo con

el comienzo y el final del despegue, el grado de adherencia será 0 - 1, 0 - 2, 0 - 3, etc. cuando el despegue comienza con el agua hasta llegar al Carbonato de Sodio; y el grado de adherencia será cero cuando el despegue se produzca con el agua destilada.

Asfaltos cortados: es igual al ítem anterior lo que difiere de éste es que la temperatura de mezclado es de 60 °C y se cura en el horno durante 5 horas a una temperatura de 110 °C.

Emulsiones : lo que difiere del primero es que la mezcla en este caso se hace a 20 °C mas o menos, se prepara la mezcla a razón de 29 volúmenes de emulsión contra 71 de agregado; una hora después de efectuada la mezcla se coloca al horno por 24 horas a una temperatura de 35 °C

Se informara como adherencia – bitumen: a – b; donde a es el inicio del despegue y b es final del despegue.

Concentración de Carbonato de Sodio v/s Grado de Adherencia.

Concentración (g/l)	Grado Adherencia	Concentración (g/l)	Grado Adherencia	Concentración (g/l)	Grado Adherencia
0	0	3.312	4	53.00	8
0.414	1	6.624	5	106.00	9
0.828	2	13.250	6	No hay despegue total en la solución 9	10
1.656	3	26.50	7		

#### 2.5.b.- DETERMINACION DEL CONTENIDO DE BITUMEN EN MEZCLAS (ENSAYE DE EXTRACCION)

Este ensaye sirve para determinar el contenido de bitumen de una muestra asfáltica mediante el proceso de centrifugado, como solvente se emplea el tricloroetileno, cloruro de metileno y tricloroetano o simplemente lo que mas se esta usando en estos momentos es la bencina que además es menos contaminante y no causa intoxicación como en el caso de los otros elementos.

Los materiales a usar en este ensayo son: papel filtro anular de rapidez media de diámetro externo igual al bol, horno con una capacidad de temperatura de 110 °C, balanza, probetas, crisol desecador, mechero a gas, reactivos, tricloroetileno, tricloroetano.



PROCEDIMIENTO: se cubre la muestra en el bol con tricloroetileno el tiempo suficiente para que el solvente disgregue la muestra, este tiempo no puede ser de mas de una hora, después se coloca el bol en el aparato centrifugador y se coloca bajo el tubo de drenaje un vaso para recoger el solvente, se seca el filtro y se pesa y se coloca para impedir el escape del fino y se cierra herméticamente, se hace aumentar la lentamente velocidad de la centrifuga hasta obtener una velocidad de 3600 rpm y que el solvente deje de fluir, se agrega aproximadamente 500 cm<sup>3</sup> de solvente, esto en todo caso depende de la capacidad del bol y repetir esto hasta que el solvente emerja limpio. Después de obtenido todo el solvente se recoge en un bidón o botella del cual se extraen 100cm<sup>3</sup> en un crisol previamente tarado cuidando que el solvente sea homogéneo para lo cual es necesario agitarlo previamente. Se evapora hasta que este seco el contenido del crisol en un baño de agua caliente, se calcina el residuo al calor del rojo oscuro, que debe ser entre 500 y 600 °C, enfríe y se debe agregar 5 ml de una solución de carbonato de amonio saturado por gramo de ceniza obtenido, se deja a temperatura ambiente por 1 hora y se debe secar al horno a 110 °C y se deja enfriar en el desecador y se pesa. Se remueve el filtro y se deja secar al aire se saca todo el fino quedado el filtro al extractor, seque el filtro y

peso constante en un horno a 110 °C, saque el agregado pétreo que queda en el extractor cuidadosamente y séquelo a peso constante en el horno a 110 °C

#### CALCULO

Se calcula la masa del material fino el volumen total del solvente de la extracción con la siguiente formula:

$$\text{Fino total} = W4 = C \times \frac{v1}{v2}$$

donde:

C = cenizas en g

W4 = peso fino total del solvente

V1 = volumen total en ml

V2 = volumen total de la alícuota en ml

El porcentaje del bitumen se calcula así:

$$B(\%) = \frac{(W1 - W2) - (W3 + W4 + W5)}{W3 + W4 + W5} \times 100$$

donde:

B = % de bitumen con respecto al agregado seco

W1 = masa de la muestra

W2 = masa del agua

W3 = masa del agregado lavado

W4 = masa del fino total del solvente

W5 = diferencia de peso del filtro

### 2.5.c.- DETERMINACION DE LA DENSIDAD MAXIMA DE MEZCLAS BITUMINOSAS SIN COMPACTAR

Éste permite determinar la densidad máxima teórica de mezclas bituminosas sin compactar, sin considerar los huecos en la mezcla el resultado final ayuda a determinar la cantidad de cemento asfáltico absorbido por los agregados de la mezcla para así conocer la cantidad total de cemento asfáltico requerida para la misma.

Los elementos requeridos para este ensaye son los siguientes: picnómetro de vidrio, uno de plástico, balanza, bomba de vacío, manómetro, baño de agua.

Se toma una muestra representativa de la mezcla asfáltica de acuerdo a la siguiente tabla:

Tamaño muestras v/s TMN para densidad de mezclas

T. max. nominal mm	US	Muestra Mín. (g)
25	(1")	2.500
20	(3/4")	2.000
12,5	(1/2")	1.500
10	(3/8")	1.000
5	(N° 4)	500

Se separan las partículas de la mezcla, teniendo cuidado de no fracturar las partículas minerales, de modo que la porción de agregado fino no sea mayor que 5 mm, si la mezcla no es lo suficientemente blanda para separarla manualmente caliéntela en el horno hasta que sea manipulable, después dejar enfriar la muestra a temperatura ambiente y colóquela en un matraz y pese y se designa la masa neta como A. Y se agrega agua hasta cubrir la mezcla. Remover el aire atrapado sometiéndolo a un vacío parcial (presión de aire menor a 30 mm Hg) durante 15

minutos, agite el matraz y su contenido vigorosamente cada 2 minutos. llene el matraz con agua hasta la marca de calibración y colóquelo en un baño de agua a 25 °C y determine el peso del matraz lleno de agua y contenido después de 10 min. de determinar el punto d y se designa esta masa como E.

Calcule la densidad máxima de la muestra sin compactar de acuerdo a la formula:

$$D_{mm} = \frac{A}{A + D - E} \times 1.000 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

donde:

$D_{mm}$  = densidad máxima de la mezcla,  $\text{kg}/\text{m}^3$

A = masa de la muestra seca al aire, g

D = masa del matraz con agua a 25 °C, g

E = masa del matraz con agua y la muestra a 25 °C , g.

#### 2.5.d.- METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS

Este ensaye como lo dice su nombre sirve para determinar la densidad de las mezclas bituminosas compactadas.

Para el método de probetas cubiertas con parafina.

Se determina la masa de la probeta después que se ha secado a masa constante y se determina esta masa como A; esta masa constante se define como la masa a la cual un secado adicional a 60 °C no se alterará en un 0,1 % de la precisión de la pesada.

Se recubre la probeta con parafina derretida con un espesor suficiente para sellar todos los huecos, se deja enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos y entonces determine la masa en aire y designe esa masa como D. Posteriormente se determina el peso de la probeta cubierta en para fina, en agua a 25 °C y designe este

peso como E. A continuación se determina la densidad de la parafina a 25 °C y desígnela como F (si es que no se conoce).

Y la densidad de la probeta se calcula de acuerdo a la siguiente formula:

$$G = \frac{A}{\frac{(D-E)}{r_w} - \frac{(D-A)}{r_p}} \times 1.000 \text{ kg/m}^3$$

donde:

A = masa de la probeta en aire, g

D = masa de la probeta con parafina en aire, g

E = masa de la probeta con parafina en agua, g

$\rho_p$  = densidad de la parafina, g/ml

G = densidad de la probeta compactada, kg/m<sup>3</sup>

$\rho_w$  = densidad del agua

#### 2.5.e.- METODO PROBETAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA

Se determina la masa de la probeta después que se ha secado a masa constante, y se designa esta masa como A, se sumerge la probeta en un baño de agua a 25 °C durante 3 a 5 minutos y se determina su masa en agua y esto se designa como C. Se seca la probeta con un paño y se determina su masa en aire esto se denota como B:

Si el porcentaje de agua absorbida, determinado por la expresión:

$$A_{ab} = \frac{B-A}{B-C} \times 100$$

es mayor que 2 se emplea el método anterior.

Y la densidad de este método se calcula con la siguiente formula:

$$G = \frac{A}{B - C} \times 1.000 \text{ kg/m}^3$$

donde:

- A = peso de la probeta en aire, g
- B = peso de la probeta saturada con superficie seca, g
- C = peso de la probeta en agua, g
- G = densidad de la probeta ( $\text{kg/m}^3$ )

## 2.6.- PROPIEDADES DESEABLES EN UNA MEZCLA ASFALTICA

La mezcla asfáltica, constituida de material pétreo convenientemente recubierto con una película de asfalto y luego sometida a un proceso de compactación, debe tener propiedades resistentes al desgaste producido por los vehículos.

Para que la mezcla cumpla su función es deseable que cumpla con las siguientes características:

- **Resistencia a la fatiga:** capacidad de un pavimento asfáltico para soportar los esfuerzos provocados por las repetidas pasadas de tránsito.
- **Estabilidad:** capacidad de un pavimento asfáltico para resistir los esfuerzos inducidos por el tránsito sin que se produzcan deformaciones.
- **Durabilidad:** propiedad de un pavimento asfáltico que indica su capacidad para resistir la desintegración por efectos del tránsito y el clima.
- **Ductilidad (flexibilidad):** capacidad de un pavimento asfáltico para adaptarse a los movimientos y asentamientos de la base y sub-rasante sin agrietarse.
- **Resistencia al deslizamiento y reducción de la llovizna (spray):** se requiere de una macro y microtextura en la superficie.
- **Retención del agregado y/o desgaste:** La mezcla agregado asfalto debe tener afinidad para evitar la disgregación en presencia de agua y/o tránsito.

- **Resistencia al agrietamiento a bajas temperaturas:** la mezcla debe ser capaz de resistir las bajas temperaturas.
- **Trabajabilidad:** facilidad con que un pavimento puede colocarse y compactarse.
- **Impermeabilidad:** es la resistencia que ofrece un pavimento al paso del aire o agua.

## 2.7.- DENSIDAD DE LA MEZCLA DEL ASFALTO

Este ensaye sirve para determinar la densidad de los asfaltos mediante el uso del picnómetro a una temperatura requerida.

Los materiales ocupados en este ensaye son el picnómetro, una balanza analítica, baño termostático, termómetro y agua destilada.

### PROCEDIMIENTO

Se determina la masa del picnómetro con tapa y désignela como A, enseguida se llena el picnómetro con agua destilada y se ajusta firmemente la tapa, sumerja en un baño de agua destilada a 25 °C durante un tiempo no menor a 30 min. se retira y se seca toda la humedad superficial, se determina la masa y se désigna como B.

Para asfaltos líquidos: se lleva el material a una temperatura de 25 °C y se vierte dentro del picnómetro hasta llenarlo, evitando la inclusión de burbujas de aire, se inserta la tapa firmemente en el picnómetro y limpie con un paño el exceso de material que se ha derramado a través del orificio y se determina la masa del picnómetro con su contenido y se désigna como C.

$$r_b = \frac{C - A}{B - A} \times r_w \times 1.000 \text{ kg/m}^3$$

en que  $p_w$  es la densidad del agua ala temperatura de ensaye.

Para cementos asfálticos: se lleva una pequeña porción de la muestra a una condición fluida, mediante la aplicación de calor en una forma suave, se debe prevenir la perdida por evaporación. Cuando la muestra esta suficientemente fluida se vierte el contenido dentro del picnómetro limpio y seco llenándolo hasta la mitad

aproximadamente. Es recomendable calentar un poco el picnómetro antes de ocuparlo, hay que tomar las precauciones para evitar que el material toque las paredes del picnómetro por encima de su nivel final y evitar la inclusión de burbujas de aire. Enfríe el picnómetro y su contenido a temperatura ambiente y determínese la masa con la tapa y se designa esto como C. Se determina de llenar con agua destilada, insértese la tapa firmemente, sumérgalo completamente en un recipiente lleno de agua destilada a 25 °C por no menos de 30 minutos, luego retírelo del baño y séquelo con un paño, determine su masa y désignela como D.

La densidad del asfalto se determina de acuerdo con la siguiente formula:

$$r_b = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} \times r_w \times 1.000 \text{ kg/m}^3$$

en que  $\rho_w$  es la densidad del agua a la temperatura de ensaye.  $\text{m}^3 \times 10^3$

## 2.8.- DISEÑO DE LAS MEZCLAS

El objetivo de un diseño de mezcla asfáltica en caliente es desarrollar una mezcla económica de agregados y asfalto que cumpla con las necesidades especificadas para cada pavimento. En general, en cualquier diseño de mezcla en caliente, lo primero es determinar las características de los agregados disponibles para el proyecto, luego, se debe elegir una granulometría que sea factible de producir y que satisfaga los requisitos. Después, debe determinarse los porcentajes de cada material y ensayar probetas usando diferentes proporciones de asfalto. Luego se analizan para determinar el contenido óptimo de asfalto sin descuidar las demás exigencias.

Históricamente las mezclas asfálticas se han diseñado usando el método Marshall o Hveem. El método más común ha sido el Marshall. En 1995 el procedimiento de diseño de mezclas Superpave comenzó a usarse. Las principales

diferencias entre los tres procedimientos es el equipo empleado para compactar los especímenes y los tests de resistencia usados para evaluar la mezcla.

Entonces tenemos que estos son los métodos usados en nuestro país para obtener un pavimento asfáltico de acuerdo con lo establecido: que sea una mezcla económica y que sea estable y resistente al desgaste del tráfico; bueno de acuerdo a esto necesitamos hacer los ensayos y desde esto determinar la cantidad de los distintos materiales a usar en nuestra mezcla:

Método Marshall:	Basado en estabilidad y contenido de vacíos.
Método Hveem:	Basado en estabilidad y contenido de vacíos.
Método Superpave:	Basado en el contenido de vacíos.

#### 2.8.- Método Marshall

El método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall en conjunto con el departamento de Carreteras del Estado de Mississippi (Estados Unidos) a finales del año 1930.

El método de diseño Marshall es aplicable sólo a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan agregados con tamaño máximo igual o inferior a 25mm.

Previo a la confección de probetas es necesario verificar que los materiales cumplan con las especificaciones, que la mezcla de agregados cumpla con las especificaciones granulométricas y determinar la densidad real seca de todos los agregados y la del asfalto. Luego se confeccionan varias probetas normalizadas de 2 ½" de altura y 4" de diámetro, cada una con porcentajes de asfalto diferentes (3 por cada % de asfalto). Estas se preparan de acuerdo a un procedimiento específico de calentamiento, mezclado y compactación. Cada probeta compactada se somete a los

siguientes ensayos y análisis: cálculo de la densidad ; estabilidad y fluencia y análisis de huecos.

Para el cálculo de la estabilidad y fluencia las probetas son ensayadas a 60° mediante la máquina de ensayo Marshall, aplicándose una carga a velocidad de deformación definida hasta que se produzca la falla. La carga (en N) obtenida se denomina la estabilidad Marshall de la probeta. La deformación asociada a esta carga se define como la fluidez de la probeta y se expresa en unidades de 0.25 mm.

Los resultados de los ensayos se representan en gráficos de:

- Estabilidad v/s % de asfalto
- Fluencia v/s % de asfalto
- Densidad v/s % de asfalto
- Huecos en la mezcla v/s % de asfalto
- VAM v/s % de asfalto

El contenido de asfalto óptimo de la mezcla se determina promediando los porcentajes de asfalto que indique la estabilidad máxima, densidad máxima y valor medio de las especificaciones de huecos en la mezcla. Una vez determinado el óptimo debe comprobarse que se encuentre dentro de los rangos aceptables para los demás parámetros estudiados.

Los elementos que se ocuparan para este ensayo son: pailas para calentar el agregado, bolos para la mezcla de asfalto y agregado, horno, termómetro, balanza, mezclador mecánico, pedestal de compactación, moldes de compactación, martillo de compactación, maquina de ensayo Marshall, baño de agua, sujetador de molde, extractor de probeta.



compactador marshall



martillo compactador y molde para Marshall

El equipo marshall es un aparato electrónico y está diseñado para aplicar la carga a las probetas de ensaye a través de unas mordazas semicirculares a una velocidad de deformación de 51 mm por minuto, está equipada con un anillo de prueba calibrado para determinar la carga aplicada, unas mordazas de estabilidad marshall y un medidor de flujo para determinar la deformación máxima.



#### 2.8.1.a.- PREPARACIÓN DE LA PROBETA:

Para determinar el contenido de asfalto óptimo para una mezcla de agregados necesarios para preparar una serie de probetas con distinto contenido de asfaltos, de modo que las curvas de datos muestren un valor óptimo definido.

Para determinar los datos adecuados se preparan a los menos 3 probetas para cada contenido de asfalto usado. La cantidad de agregado necesario para una serie de probetas es de aproximadamente 20 kg y se necesitan alrededor de 1,5 lt de asfalto.

Se preparan de acuerdo a :

- número de probetas es que se deben preparar al menos 3 probetas y 5 de preferencia para cada contenido de asfalto.
- Preparación del agregado se seca el agregado hasta masa constante a una temperatura de 105 a 110 °C y se separan los agregados por tamices en seco.
- Temperatura del mezclado: la temperatura a la cual debe calentarse el asfalto para producir una viscosidad de  $170 \pm 20$  cst.
- La temperatura de compactación a la cual debe calentarse el asfalto para producir una compactación de  $280 \pm 30$  cst.
- Se limpia completamente el conjunto del molde con la cara del martillo de compactación y caliéntelos en un baño de agua o a una placa caliente a una temperatura superior a los 95 °C y coloque un papel filtro cortado a medida en la parte inferior del molde antes de colocar la mezcla.
- Se pesan las bandejas para cada probeta de ensayo que se vaya a realizar y en ellas la cantidad de fracción para producir para que de como resultado una probeta de 63,5 mm de altura. Normalmente se requiere de 1,100 g .coloque las bandejas en el horno o en una placa caliente y llévelas a una temperatura aproximadamente de 30 °C sobre la temperatura de mezclado especificado anteriormente, se coloca el agregado caliente en el bol de mezclado, incorpore el filler, y revuelva completamente.
- Para la compactación se coloca la muestra en el molde, dé a la mezcla, un acomodo con una espátula 15 veces el perímetro, y 10 veces el centro. La temperatura antes de compactar debe estar en los limites, establecidos en el

punto anterior descrito como temperatura de compactación, si no es así debe descartarse por que en ningún caso la mezcla debe recalentarse.

- Se aplican 75 golpes o como se especifique para el tipo de tránsito de diseño, con el martillo de compactación usando una caída libre de 18", terminada esta primera parte se saca el collar y se invierte y se reensámblale molde y se aplica por la otra cara la misma cantidad de golpes; después de tener la muestra compactada se saca de la base y se deja enfriar al aire hasta que la probeta no se deforme, si se desea un enfriamiento más rápido se pueden usar ventiladores, normalmente se deja enfriar la probeta toda la noche.

#### 2.8.1.b.-Procedimiento de ensaye

Las probetas se someten a los siguientes ensayos:

- Cálculo de la densidad
- Estabilidad y fluencia
- Análisis de huecos.

Se calcula el valor promedio de la fluencia y de la estabilidad corregida para todas las probetas con un mismo contenido de asfaltos y se prepara los gráficos:

- estabilidad v/s contenido de asfalto
- fluencia v/s contenido de asfalto
- densidad v/s contenido de asfalto
- huecos en la mezcla v/s contenido de asfalto
- VAM v/s contenido de asfalto

De acuerdo a las curvas se obtiene lo siguiente:

- que la estabilidad aumenta al aumentar el contenido de asfalto
- la fluencia aumenta con el contenido de asfalto,
- que la curva de densidad es similar a la de estabilidad

- el porcentaje de huecos de aire decrece al aumentar el contenido de asfalto,
- el porcentaje de vacíos en el agregado mineral decrece hasta un valor mínimo y de ahí crece,
- los huecos llenos con asfaltos crecen al aumentar el contenido de asfalto

Los criterios que se recomiendan para obtener el contenido de asfalto óptimo son:

Para carpeta de rodado: de las curvas anteriormente vistas se pudo determinar la máxima estabilidad (A), la máxima densidad (B) y valor medio de huecos en la mezcla (C) entonces el contenido óptimo será el promedio de estos tres:

$$\frac{(A + B + C)}{3}$$

Para capa intermedia y base: el porcentaje de asfalto óptimo corresponderá al menor valor cumpla con todas las especificaciones de calidad de la mezcla asfáltica. Obtenido el porcentaje de asfalto óptimo, del gráfico densidad v/s porcentaje de asfalto se determina la densidad de diseño, ingresando con el valor determinado según uno de los criterios indicados. El contenido de asfalto óptimo de la mezcla es entonces el promedio de los valores determinados anteriormente.

#### 2.8.2.- Cálculo de la Densidad.

Una vez enfriada la probeta a temperatura ambiente se determina su densidad de acuerdo al ensayo LNV-13 "Método para determinar la densidad real de mezclas bituminosas compactadas". En este ensayo existen dos métodos, el Método A "Probetas Cubiertas con Parafina" y el Método B "Probetas con Superficie Saturada Seca".

## Método A

Fórmula:

$$G = \frac{A}{\frac{(D-E)}{r_w} - \frac{(D-A)}{r_p}} * 1000 \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$$

donde:

G: densidad real en que se considera el volumen macizo de la probeta, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles.

A: masa de la probeta seca en aire, g.

D: masa de la probeta seca más parafina en aire, g.

E: masa de la probeta seca más parafina en agua, g.

$r_p$ : densidad de la parafina a  $25^\circ \pm 1^\circ$  C en  $g/cm^3$ .

$r_w$ : densidad del agua ( $1.0 g/cm^3$ ).

## Método B

Si el porcentaje de agua absorbida, determinado por la relación:

$$A_{ab} = \frac{B-A}{B-C} * 100 \geq 2 \Rightarrow \text{Usar el método A. Si esta condición no se cumple, entonces}$$

se debe calcular con la siguiente fórmula:

$$G = \frac{A}{\frac{B-C}{r_w}} * 1000 \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$$

donde:

A: masa de la probeta seca en aire, g.

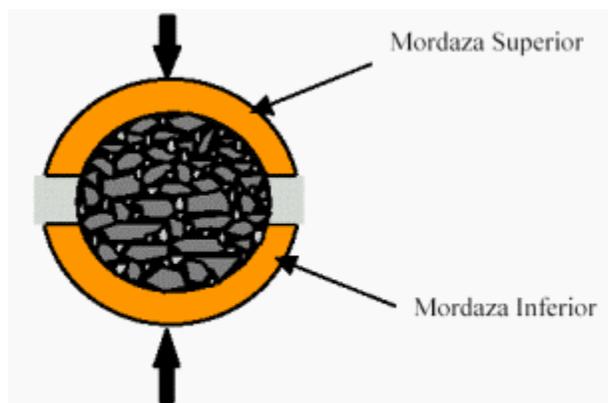
B: masa de la probeta en aire con superficie seca, g.

C: masa de la probeta en agua, g.

### 2.8.3.- Cálculo de la Estabilidad y Fluencia.

La estabilidad y la fluencia se miden directamente desde el ensayo del equipo Marshall, colocando la probeta entre la mordaza inferior y superior del aparato para ser cargada diametralmente ( figura siguiente). La carga se aplica a una deformación de 51 mm por minuto hasta que se produzca la falla. La estabilidad queda definida por la carga máxima que es capaz de soportar la probeta de ensayo a 60° C. La fluencia se mide desde el momento en que la probeta empieza a ser cargada hasta llegar a su rotura.

Ilustración del Conjunto de Mordazas. Ensayo Estabilidad Marshall



#### 2.8.3.a.- Análisis de Huecos.

En este caso, se debe calcular la cantidad de vacíos en la mezcla completa y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM), según se detalla a continuación:

Vacíos en la Mezcla.

Los huecos en la mezcla, se calculan según la siguiente fórmula:

$$V_a = 100 * \frac{D_{mm} - G}{D_{mm}}$$

donde:

V<sub>a</sub> : es el porcentaje de huecos en la mezcla.

D<sub>mm</sub>: es la densidad máxima de la mezcla (según LNV-12).

$G$  : es la densidad de la mezcla compactada (LNV-13).

El término  $D_{mm}$  se calcula de la siguiente forma:

$$D_{mm} = \frac{100 + P_b}{\frac{100}{rE} + \frac{P_b}{r_b}}$$

donde:

$D_{mm}$ : es la densidad máxima de la mezcla ( $\text{Kg/m}^3$ ).

$P_b$  : es el porcentaje de asfalto referido al agregado.

$rE$  : es la densidad efectiva del agregado.

$r_b$  : es la densidad del asfalto ( $\text{Kg/m}^3$ ).

Por otra parte, la densidad efectiva del agregado,  $rE$ , se obtiene según la siguiente expresión:

$$rE = \frac{100}{\frac{100 + P_b}{D_{mms}} - \frac{P_b}{r_b}}$$

donde:

$rE$  : es la densidad efectiva del agregado ( $\text{Kg/m}^3$ ).

$P_b$  : es el porcentaje de asfalto referido al agregado (%).

$D_{mms}$ : es la densidad máxima de la mezcla suelta ( $\text{Kg/m}^3$ ).

$r_b$  : es la densidad del asfalto ( $\text{Kg/m}^3$ ).

2.8.3.b.- Vacíos en el Agregado Mineral (VAM).

El VAM se calcula de la siguiente manera:

$$VAM = 100 - \frac{G}{rRS} * \frac{100}{(100 + P_b)} * 100$$

donde:

VAM: es el porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

G : es la densidad de la mezcla compactada (Kg/m<sup>3</sup>).

?RS : es la densidad real seca del agregado (Kg/m<sup>3</sup>).

P<sub>b</sub> : es el porcentaje de asfalto referido al agregado mineral.

La densidad real seca del agregado, ?RS, se calcula con la siguiente expresión:

$$rRS = \frac{100}{\frac{P_1}{rRS_1} + \frac{P_2}{rRS_2} + \dots + \frac{P_n}{rRS_n}}$$

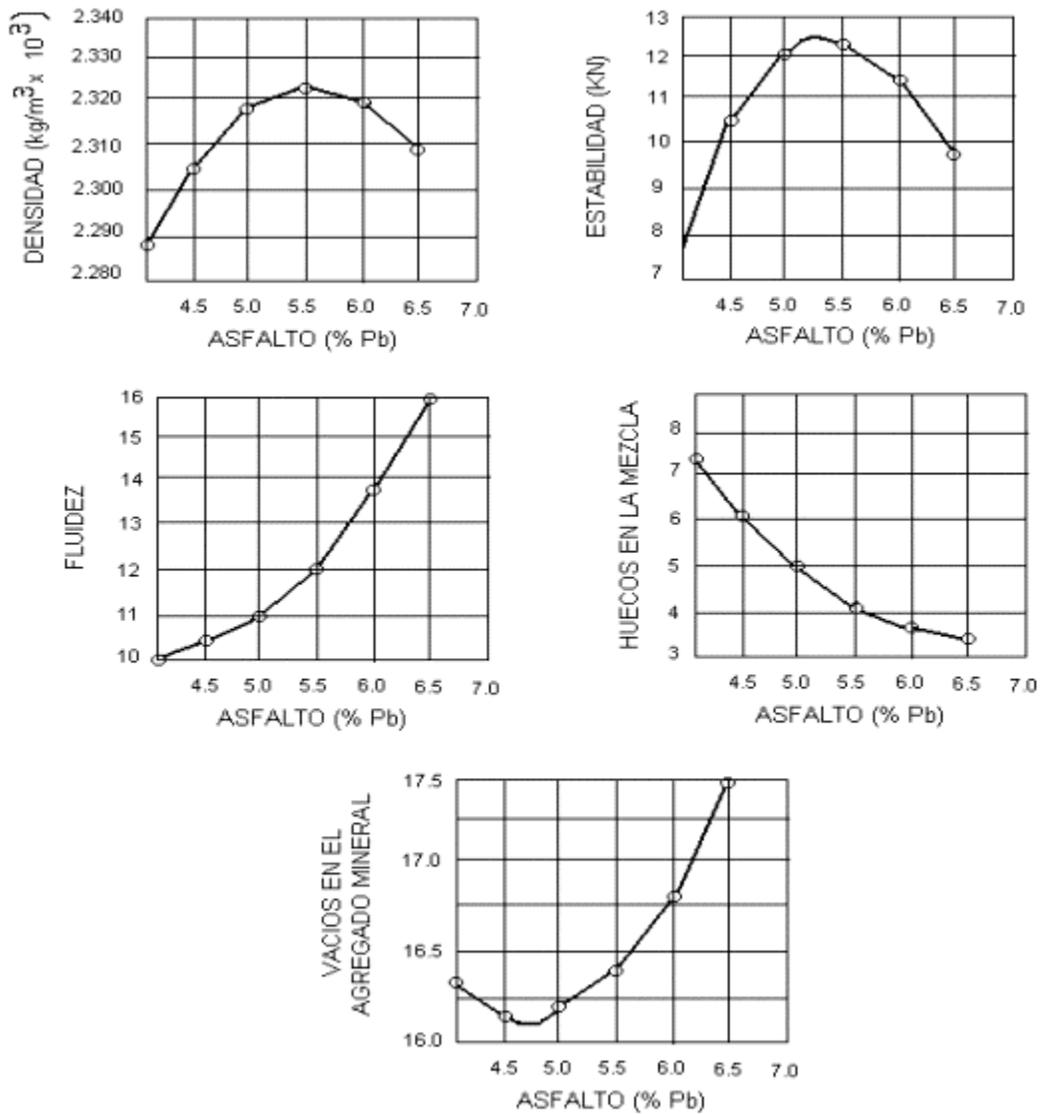
?RS : es la densidad real seca del agregado (Kg/m<sup>3</sup>).

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>....P<sub>n</sub>: es el porcentaje en peso de los agregados, 1, 2, ...n.

?RS<sub>1</sub>,....?RS<sub>n</sub>: es la densidad real seca de los agregados 1,.....n.

La densidad real seca del filler mineral es difícil determinar en forma precisa, según la técnica actual. Si en vez de éste se usa la densidad de las partículas sólidas por el método de Le Chatelier, el error es generalmente despreciable.

Supongamos que los siguientes datos que se muestran en los siguientes gráficos:



Y usaremos la categoría de tránsito pesado (tamaño máximo nominal 20 mm), suponiendo que la dosificación es la correspondiente a las especificaciones y el contenido de asfalto es óptimo, tenemos que:

contenido de asfalto máxima densidad	5,7
contenido de asfalto 4 % huecos al aire	5,6
contenido asfalto máxima estabilidad	5,4
contenido de asfalto optimo, promedio	5,6

por lo tanto el contenido de asfalto óptimo es de 5,6 % y para este contenido se tiene que los valores de:

estabilidad (N)	12.250
Fluidez (0,25 mm)	12,7
Huecos en la mezcla (%)	4,0
VAM (%)	16,4

Tomemos en cuenta que el valor de la estabilidad excede el valor mínimo de 8000 N

#### 2.8.4.- Determinación del Contenido de Asfalto Óptimo.

Capas de Rodado.

El contenido de asfalto óptimo de la mezcla se calcula a partir de las gráficos densidad, estabilidad y huecos en la mezcla. Con estos gráficos, se determina lo siguiente:

$P_{b1}$ : contenido de asfalto que maximiza la estabilidad.

$P_{b2}$ : contenido de asfalto que maximiza la densidad.

$P_{b3}$ : contenido de asfalto para el 4% de huecos.

El asfalto óptimo se define como:

$$Pb = \frac{Pb_1 + Pb_2 + Pb_3}{3}$$

Se verifica que el contenido de asfalto óptimo cumpla con los requisitos establecidos, sino se deberá ajustar la mezcla hasta que cumpla dichas condiciones.

### 2.8.5.- Requisitos de la Mezcla de Diseño.

Es importante elegir una mezcla asfáltica económica que cumpla con todas las especificaciones solicitadas. En la siguiente tabla se resumen los criterios a considerar en el diseño Marshall.

Criterios de Diseño Marshall. LNV. (Tránsito Pesado).

<b>Compactación o Número de Golpes por Cara</b>	75
<b>Estabilidad (N)</b>	
<i>Carpeta de Rodado (Cemento Asfáltico)</i>	Min. 9000-Máx.14000
<i>Capa Intermedia</i>	Min. 8000-Máx.12000
<i>Capa Base</i>	Min. 6000-Máx.9000
<b>Huecos en la Mezcla (%)</b>	
<i>Carpeta de Rodado (Cemento Asfáltico)</i>	3-5
<i>Capa Intermedia</i>	3-8
<i>Capa Base</i>	3-8
<b>Fluencia (0.25 mm)</b>	
<i>Todas las Capas(Rodado, Intermedia, Base)</i>	8-16

Porcentaje Mínimo de Vacíos en el Agregado Mineral (VAM).

TAMAÑO NOMINAL (mm)	MINIMO DE VACIOS (VAM) (%)
25	13
19	14
12,5	15
10	16
5	18
2,5	21
1,25	23,5

### 2.9.- Método de diseño Hveem.

El procedimiento de diseño de mezclas Hveem fue desarrollado por Francis Hveem,

El método determina la cantidad óptima de asfalto en el diseño de una mezcla bituminosa mediante el ensayo del Equivalente Centrífugo en Kerosene (ECK) y luego aplica a las probetas ese contenido de asfalto a contenidos mayores y menores y los somete al ensayo de estabilidad con el estabilómetro Hveem.

Este método también incorpora un análisis de densidad / vacíos y la determinación de la resistencia de la mezcla al hinchamiento por la presencia de agua.

Para aplicar este método, primeramente se realiza una verdadera evaluación de cada uno de los componentes de la mezcla asfáltica, es decir, sobre el asfalto y los agregados minerales. Estos materiales se seleccionan y se ensayan para determinar si cumplen con los requisitos del proyecto.

Posteriormente, se determina la cantidad óptima de asfalto a partir de los siguientes parámetros: área superficial, ECK (Equivalente Centrífugo de Kerosene), retenido de aceite y razón de aceite mediante el empleo de ábacos.

#### 2.9.a.- Cálculo del Área Superficial.

Para determinar el área superficial del agregado se usa la granulometría. Este cálculo consiste en multiplicar el porcentaje que pasa por cada tamiz por un factor de área superficial que se indica en la siguiente tabla. La suma de los productos obtenidos representa el área superficial equivalente de la muestra en pie<sup>2</sup>/libra.

Factores de Área Superficial.

Tamiz	(mm)	T.Máx.	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	0.08
	(U.S.)	T.Máx.	Nº4	Nº8	Nº16	Nº30	Nº50	Nº100	Nº200
Factor Área Superf. (pie <sup>2</sup> /lb)			2	4	8	14	30	60	160

Procedimiento ECK.

Se colocan 100 gramos de agregado seco del material que pasa por el tamiz 5 mm en cada capacho de la centrífuga previamente tarados. Ambos capachos se colocan en un recipiente que contiene 1 cm de altura de kerosene. Cuando el agregado se sature por capilaridad se somete a centrifugación durante 2 minutos.

El equipo que simula las revoluciones corresponde a una centrífuga eléctrica, capaz de ejercer una fuerza de 400 unidades de gravedad sobre una muestra de 100

gramos. La centrífuga debe girar a las revoluciones que se indican según la siguiente expresión:

$$rpm = \sqrt{\frac{14000000}{25.4 * r}}$$

donde:

rpm : revoluciones por minuto a la que se somete la muestra.

r : radio en mm al centro de gravedad de la muestra.

Una vez finalizada la centrifugación, se pesan ambas muestras y se determina la cantidad de kerosene retenido como un porcentaje del peso seco del agregado. Al promediar ambos valores resulta el equivalente centrífugo kerosene (ECK). Este valor está dado por la siguiente expresión:

$$ECK = \left( \frac{W_K - W_S}{W_S} \right) * 100$$

en que:

$W_K$  : peso de la muestra con kerosene retenido (grs).

$W_S$  : peso seco de la muestra de agregado (grs).

El ECK entrega un índice (K) que indica la rugosidad relativa de las partículas y la capacidad superficial basado en la porosidad.

#### 2.9.b.- Cálculo del Retenido de Aceite.

Se preparan 100 gramos de material seco que pasa por el tamiz 10 mm y que queda retenido en el tamiz 5 mm. Luego, el material se coloca en un vaso (de 10 cm de diámetro) con aceite SAE10 durante cinco minutos. Después se elimina el aceite vaciando el material en un embudo de vidrio (de 10 cm de diámetro) que retiene las partículas y se drena durante 2 minutos. Se mete la muestra en un horno a 60°C para seguir con el drenaje durante 15 minutos. Se pesa la muestra después de drenada y se determina la cantidad de aceite retenido como un porcentaje del peso del agregado seco mediante la siguiente expresión:

$$\text{Porcentaje Retenido de Aceite} = \left( \frac{W_A - W_S}{W_S} \right) * 100$$

en que:

WA : peso de la muestra con aceite retenido (grs).

WS : peso seco de la muestra de agregado (grs).

### 2.9.c.- Cálculo del Contenido de Asfalto.

#### Determinación de Kf.

Si la densidad neta del agregado fino es mayor que 2700 Kg/m<sup>3</sup> es necesario corregir el valor ECK de la siguiente forma:

$$ECK_{\text{corregido}} = ECK * \frac{rNf}{2650}$$

donde:

?Nf : densidad neta del agregado fino.

Con el valor de ECK corregido se entra en la tabla en forma horizontal hasta interceptar el área superficial calculada. Desde este mismo punto, se sigue verticalmente hasta interceptar el porcentaje que pasa por el tamiz 5 mm y luego se continúa horizontalmente para determinar la constante superficial del material fino, Kf.

Ábaco para calcular Kf a partir de ECK corregido en Anexo 1

### 2.9.d.- Determinación de Kc.

Si la densidad neta del agregado grueso está fuera del rango 2600-2700 Kg/m<sup>3</sup> es necesario corregir el porcentaje de aceite retenido según la siguiente expresión:

$$\text{Porcentaje Aceite Retenido Corregido} = \% \text{ Aceite Ret } * \frac{rN_g}{2650}$$

donde:

?Ng : densidad neta del agregado grueso.

Con el valor retenido de aceite corregido se entra en el siguiente abaco para determinar la constante superficial del material grueso, Kc. En otras palabras, Kc corresponde a la constante superficial para la fracción retenida en 5 mm.

Ábaco para determinar la constante de absorción del agregado grueso, Kc en Anexo 1

#### 2.9.e.- Determinación de Km.

Con el valor del área superficial se entra al abaco en forma horizontal hasta interceptar el porcentaje de agregado grueso. Luego, en forma vertical, se intercepta la diferencia (Kc-Kf). Desde este mismo punto, se sigue en forma horizontal hasta determinar la corrección a Kf. Con este valor se puede calcular Km.

$$K_m = K_f \pm \text{Corrección de } K_f$$

en que:

Km: es el valor compuesto de K para una combinación dada de agregados grueso y fino a los cuales se les ha determinado en forma independiente los términos Kc y Kf.

Si  $K_c - K_f < 0 \Rightarrow$  Corrección Negativa

Si  $K_c - K_f > 0 \Rightarrow$  Corrección Positiva

Ábaco para la determinación del parámetro "Km" en Anexo 1

### 2.9.f.- Determinación del Contenido de Asfalto Aproximado.

Con el valor del área superficial del agregado se ingresa a la tabla Se continúa horizontalmente hasta interceptar la densidad neta y desde este punto, en forma vertical, se intercepta hasta llegar al valor de Km. calculado previamente.

Luego, horizontalmente, se intercepta el valor de la razón de aceite. Este valor corresponde al porcentaje en peso de bitumen para asfaltos líquidos RC-250, MC-250 y SC-250. Para la determinación del contenido de bitumen aproximado, en caso de cementos asfálticos, se realiza una corrección al valor anterior por la mayor viscosidad que poseen.

Ábaco para la determinación del porcentaje en peso de asfalto (razón de aceite) del tipo SC-250, MC-250 y RC-250 en Anexo 1

Como el contenido de asfalto está en “libras” de aceite por “100 libras” de agregado, entonces el contenido de asfalto por peso de la mezcla total se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Porcentaje Cemento Asfáltico} = \frac{\text{Contenido de Asfalto}}{100 + \text{Contenido de Asfalto}} * 100$$

Después de calculado un primer valor para la cantidad de asfalto (mediante el procedimiento del Centrífugo en Kerosene) se preparan las probetas conforme a la temperatura de mezclado calentando previamente los agregados. Se confeccionan según las siguientes cuatro cantidades de asfalto:

- Un valor determinado por el procedimiento ECK.
- Dos valores bajo el valor determinado por el procedimiento ECK, disminuidos en 0.5% y 1%.
- Un valor por sobre la cantidad determinada según el procedimiento ECK, aumentado en 0.5%.

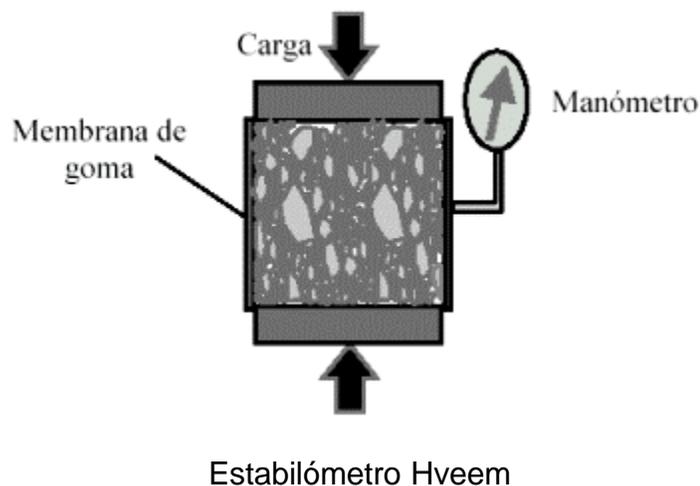
### 2.9.g.- Compactación de las Probetas.

Una vez mezcladas las componentes de la mezcla asfáltica se procede a su compactación mediante el compactador Kneading. En este proceso, inicialmente, se aplican 10 a 50 golpes (típicamente 20 impactos es suficiente) bajo una presión de 250 psi. Si la mezcla aún no está bien densificada, se debe aplicar 40000 libras de carga estática a una razón de 0.05 pulgadas por minuto y durante 30?5 segundos.

Luego, se incrementa la presión a 500 psi y se aplican 150 golpes. Después de todo esto, se debe observar la superficie de cada probeta compactada para ver si existe exhudación o deterioro en ella.

#### 2.9.1.- Ensaye de Estabilidad Hveem.

A continuación, se realiza el ensaye del Estabilómetro Hveem sobre las probetas a una temperatura de 60°C a las que se les aplica una carga de prueba a una tasa de 1.3 mm por minuto con lecturas a incrementos de 2.22, 4.45 hasta 26.7 kN.





En este procedimiento se gira la bomba de desplazamiento hasta que la presión sea 690 kPa. Se lee el dial Ames y se registra en unidades de 0.25 mm el desplazamiento de la probeta.

Para calcular el valor del estabilómetro (S) se puede utilizar la siguiente expresión, en unidades de psi, libras y pulgadas:

$$S = \frac{22.2}{\frac{P_K * D_2}{(P_V - P_h)} + 0.222}$$

**donde:**

$P_V$  : presión vertical de 400 psi.

$P_h$  : presión horizontal con lectura de carga a compresión de 5000 libras.

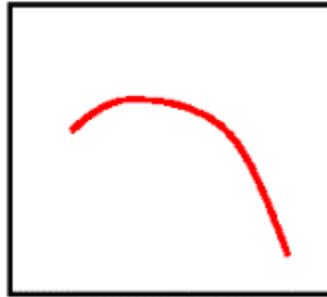
$D_2$  : desplazamiento de la probeta, en unidades de 0.01 pulgadas.

#### 2.9.1.a.- Análisis de Densidad y Vacíos de Aire en la Mezcla.

Una vez terminado el ensayo de estabilidad, se realiza el análisis de densidad y vacíos de aire en las probetas de mezcla asfáltica, de la misma manera que lo determina el método Marshall. Con esto, se tabulan y se grafican los siguientes resultados:

- Estabilidad Hveem v/s Contenido de Asfalto

Estabilidad Hveem



Contenido de Asfalto, %

- Densidad v/s Contenido de Asfalto

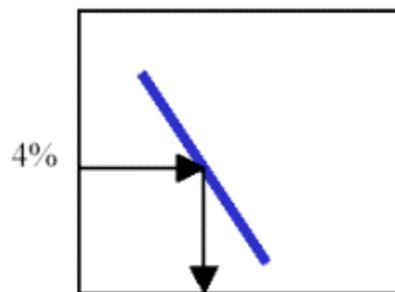
Densidad



Contenido de Asfalto, %

- Huecos v/s Contenido de Asfalto

Vacios de Aire %



Contenido de Asfalto, %

De las figuras se puede comentar lo siguiente:

- La estabilidad Hveem disminuye a medida que el contenido de asfalto aumenta.
  - La densidad generalmente aumenta con un incremento del contenido de asfalto. -
- La curva puede, sin embargo, no alcanzar necesariamente un peak.
- Los vacíos de aire disminuyen a medida que aumenta el contenido de asfalto.

### 2.9.2.- Determinación de la Cantidad Óptima de Asfalto.

El siguiente paso que se debe realizar en el diseño corresponde a la determinación de la cantidad óptima de asfalto. La filosofía del método de diseño Hveem es seleccionar el contenido de asfalto más alto para obtener una alta durabilidad sin que se salga del límite mínimo de la estabilidad requerida. El método de la "pirámide" selecciona un contenido de asfalto de diseño según este principio. La construcción de la pirámide consiste en varias cajas cuadradas. Su base se compone de cuatro cajas lo que corresponde al número de contenidos de asfalto con las cuales se confeccionaron las probetas. Cada ascenso de nivel en la pirámide significa una caja menos.

Los siguientes pasos se deben seguir para determinar el contenido de asfalto de diseño según la "pirámide":

- Paso 1. Registrar los cuatro contenidos de asfalto usados para preparar las probetas.
- Paso 2. Seleccionar del Paso1 los tres contenidos de asfalto más altos que no exhiban exhudación en la probeta o que sean moderadas y registrarlos en el Paso2.
- Paso 3. Seleccionar del Paso2 las dos probetas que tengan la mayor estabilidad y que cumplan con la estabilidad mínima e ingresarlos al Paso3.
- Paso 4. Seleccionar del Paso3 el mayor contenido de asfalto que tenga al menos un 4% de vacíos de aire.

Por último, se determina la resistencia de la mezcla asfáltica al hinchamiento por la presencia de agua. Para esto es necesario conocer la resistencia debido a la tensión que se somete la probeta, dada por la siguiente expresión:

$$R = \frac{2P}{p * t * D}$$

en que:

R: resistencia de la probeta.

P: carga máxima vertical.

t : altura de la probeta.

D: diámetro de la probeta.

Luego, se evalúa el parámetro TSR que corresponde a la razón de resistencia bajo esfuerzos sobre la probeta en condiciones seca y húmeda.

$$TSR = \frac{R \text{ en condición húmeda}}{R \text{ en condición seca}} * 100\%$$

Si  $TSR < 75\%$  ó  $80\%$ , la mezcla asfáltica requiere un aditivo especial para disminuir la sensibilidad a la humedad.

### 2.9.3.- Ventajas y desventajas del método de diseño Hveem:

Ventajas:

- El método de laboratorio de compactación por amasado (kneading) es, para muchos ingenieros, una muy buena simulación de las características de densificación de la mezcla asfáltica de un pavimento real.
- La estabilidad Hveem es una medida directa de la componente de fricción interna de la resistencia al corte. Mide la capacidad de una probeta de ensayo a resistir un desplazamiento lateral por la aplicación de una carga vertical.

## Desventajas:

- El compactador por amasado y el estabilómetro de Hveem es mucho más caro que el equipo que se utiliza en el método Marshall y no es muy transportable.
- Se cree, por parte de algunos ingenieros, que el método de selección del contenido de asfalto es demasiado subjetivo y podría resultar en una mezcla bituminosa no durable con muy poco asfalto.

## 2.9.4.- EJEMPLO

Calculo del contenido de asfalto de la muestra: este se determina con el uso del ábaco siguiente para explicar claramente el funcionamiento de éste se disponen de los siguientes datos:

- area superficial ( pie <sup>2</sup> /lb)	32,4
- ECK	5,6
- Retenido de aceite	1,9
- ρNg (densidad neta grueso)	2.450
- ρNF (densidad neta fino)	2.640
- ρN (densidad neta)	2.530
- % que pasa por tamiz 5 mm (N° 4)	45

Con el valor de ECK se entra el grafico donde se denomina la constante superficial del material fino, Kf. Si la densidad neta del agregado fino es mayor que 2.700 kg/m<sup>3</sup> es necesario corregir el valor ECK.

ECK	=	5,6
AS	=	32,4
Kf	=	1,25
Pasa 5 mm	=	45

Con el retenido de aceite se entra el siguiente ábaco donde se determina la constante superficial del material grueso,  $K_c$ . Si la densidad neta del agregado grueso esta fuera del rango 2.600 – 2.700 es necesario corregir el retenido de aceite.

$$R.A.corr. = 1,9 \times \frac{2.450}{2.650} = 1,7$$

si tiene  $K_c = 0,8$

con la diferencia de  $K_c - K_f$  se entra en el tercer grafico y se determina la constante superficial de la mezcla de agregado,  $K_m$  esta constante se calcula con la siguiente formula:

$$K_m = K_f \pm \text{corrección de } K_f$$

Si  $K_c - K_f$  es negativa la corrección es negativa

Si  $K_c - K_f$  es positiva la corrección es positiva

Por ejemplo  $K_c - K_f = 0,8 - 1,25$  (negativo)

Por lo tanto  $K_m = 1,15$

Finalmente con el valor de  $K_m$  y el siguiente grafico se determina el contenido de bitumen aproximado teniendo como datos para hacer una guía o demostración:

$$AS = 32,4$$

$$\rho_N = 2.530$$

$$K_m = 1,15$$

## 2.10. Método de diseño Superpave (SUPERior PERforming Asphalt PAVement).

En el año 1987, el SHRP (Strategic Highway Research Program) comenzó el desarrollo de un nuevo sistema para la especificación de los materiales asfálticos.

Después de esta investigación, el producto final correspondió a un sistema conocido con el nombre de Superpave. Éste representa un sistema más avanzado de especificación de los materiales componentes, diseño de mezclas bituminosas y su análisis, y la predicción de la performance (rendimiento o desempeño) de los pavimentos, incluyendo equipos de ensayo, métodos de ensayo y criterios.

Los objetivos que persigue el método de diseño de mezclas Superpave son:

- Diseño por Ahuellamiento.
- Diseño por Fisuramiento debido a Fatiga.
- Diseño por Fisuramiento debido a Bajas Temperaturas.

Lo primero que preocupó en este método fue el desarrollar un procedimiento que simulara al mundo real de los caminos, de tal forma que representara fielmente lo que sucedía en los pavimentos.

A raíz de lo anterior, los investigadores del SHRP se plantearon la meta de diseñar un equipo que pudiera compactar en forma más realista las probetas para representar de mejor manera la densidad que alcanza la mezcla asfáltica bajo condiciones de clima y carga del pavimento. Por no contar con un compactador adecuado para lo que se deseaba, SHRP desarrolló un nuevo compactador llamado Compactador Giratorio Superpave (SGC = Superpave Gyrotory Compactor).

A diferencia de los métodos de diseño Marshall y Hveem, este nuevo método usa moldes de 150 mm de diámetro para permitir el uso de agregados de mayor tamaño en la confección de probetas.

En consecuencia, se cuenta con un nuevo método que brinda las siguientes características:

- Método de compacidad que simula la compactación de terreno.
- Acomodo de mezclas con agregado más grande (tamaño máximo hasta 50 mm).
- Medida de la compacidad para poder identificar el comportamiento de una potencial mezcla blanda y otros problemas debido a la compactación.
- Posibilidad de usarse en laboratorios de terreno.
- Método enfocado a los factores de durabilidad (espesor de la película de asfalto y medio ambiente).

El sistema Superpave presenta tres diferentes niveles de diseño de mezcla. En cada uno de estos niveles se incluye el diseño volumétrico. Los niveles son:

-Nivel 1.

Se aplican especificaciones granulométricas y controles de tipo volumétrico.

-Nivel 2.

Se realizan pruebas basadas en el comportamiento mecánico de las mezclas.

Esto permite la optimización del diseño de la mezcla para que resista la deformación permanente y al agrietamiento por fatiga y/o bajas temperaturas. Las pruebas que se ejecutan en este nivel, se enfocan principalmente en proveer una estimación de la cantidad de deformación permanente y agrietamiento que puede ocurrir durante la vida del pavimento.

-Nivel 3.

Se emplean pruebas adicionales que permiten una estimación más precisa de la deformación permanente, el agrietamiento por fatiga y baja temperatura.

Ahora bien, para seleccionar el nivel a emplear en el diseño, el tráfico de diseño es el factor que determina el procedimiento de evaluación de las características mecánicas a seguir para el estudio de la mezcla.

## Procedimiento de Diseño de Mezclas Superpave. Nivel 1 de Diseño.

### Selección de Materiales.

#### a) Selección del Asfalto.

A continuación, se describen todas las etapas que se deben seguir para la selección del asfalto según el diseño de mezclas Superpave.

##### a.1.) Determinación del Clima a partir de un Registro de Datos Meteorológicos.

Este es el primer paso que se debe realizar para determinar el asfalto que se usará en la mezcla Superpave.

Para esto, se debe contar con una base de datos de información meteorológica de estaciones que midan las temperaturas del aire de un lugar determinado (preferentemente en la zona de proyecto). El software Superpave contiene una base de datos meteorológicos de 6500 estaciones de los Estados Unidos y Canadá.

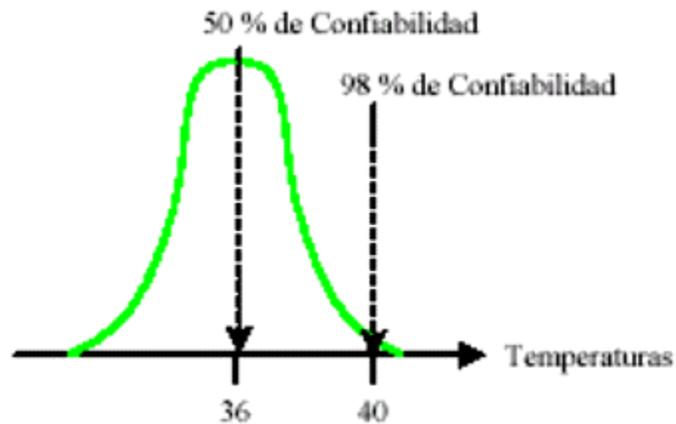
Para cada año, que contenga los datos, se determina la temperatura máxima del aire como el promedio de los 7 días consecutivos más calurosos del año. Además, se determina el promedio y la desviación estándar para todos los años registrados. La temperatura mínima del aire corresponderá a la del día más frío del año. Se determina además, el promedio y la desviación estándar para todos los años.

##### a.2.) Seleccionar la Confiabilidad.

La confiabilidad corresponde al porcentaje de probabilidad (en un período de 1 año) en que la temperatura real (de servicio) no excede la temperatura de diseño.

En la siguiente figura se muestra una distribución de 7 días consecutivos más calurosos de 1 año con ciertos porcentajes de confiabilidad. En este caso, el promedio de temperatura de los 7 días más calurosos es 36°C, indicando un 50% de probabilidad de que los 36°C sean superados. Del mismo modo, existe sólo un 2%

De probabilidad que los 40°C sean superados, es decir, en este caso una temperatura de 40°C entrega una confianza del 98%.



Distribución de temperaturas de los 7 días más calurosos en 1 año.

### a.3.) Determinación de las Temperaturas de Diseño.

La temperatura del aire se debe convertir a la temperatura real que tendrá el pavimento. Para esto, es necesario aplicar ciertas fórmulas y consideraciones. Dentro de las consideraciones, Superpave determina la alta temperatura del pavimento a 20 mm por debajo de la superficie y considera la baja temperatura en la superficie misma o fórmula según expertos canadienses. Según esto, se deben aplicar las siguientes fórmulas:

- Alta temperatura de diseño para el pavimento:

$$T_{20mm} = (T_{aire} - 0.00618 * lat^2 + 0.2289 * lat + 42.2) * (0.9545) - 17.78$$

$T_{20mm}$  : temperatura máxima del pavimento a una profundidad de 20 mm, en °C.

$T_{aire}$  : promedio de la temperatura del aire para los 7 días consecutivos más calurosos, en °C.

$lat$  : latitud del proyecto, en grados.

- Baja temperatura de diseño del pavimento:

$$T_{\text{sup.}} = T_{\text{del día mas frío del año}}$$

ó

$$T_{\text{sup.}} = 0.859 * T_{\text{aire}} + 1.7$$

en que:

$T_{\text{sup.}}$  : temperatura mínima del pavimento en la superficie, en °C.

$T_{\text{aire}}$  : temperatura mínima del aire para el día más frío del año, en °C.

a.4.) Selección del Grado de Ligante.

El asfalto se selecciona según el grado PG XX-YY.

Según este nuevo sistema, la especificación de los ligantes bituminosos se basa en el desempeño que puedan tener en terreno (performance). A partir de esto, se especifican los asfaltos sobre la base del clima y temperatura prevista en el pavimento. El grado de performance (PG) de un asfalto es, por ejemplo, PG 64-22. El primer número, 64, se llama “grado de alta temperatura”. Esto significa que el ligante tendría propiedades físicas adecuadas al menos hasta los 64°C (alta temperatura directamente relacionado al clima en el que el ligante estará en servicio). El segundo número, -22, se llama “grado de baja temperatura”, lo que significa que el ligante tendría propiedades físicas adecuadas hasta al menos los -22°C.

También otras consideraciones son tomadas en cuenta en la elección del tipo de asfalto, las que se relacionan con los tiempos de carga y las magnitudes de carga aplicadas sobre los pavimentos. En consecuencia, para cargas lentas, estacionarias como ocurre usualmente en intersecciones o casetas de peaje, se recomienda un asfalto con un stiffness alto para que soporte dichas cargas. Con esto, Superpave requiere que el grado de alta temperatura se aumente al menos uno o dos grados (los grados según Superpave se separan cada 6°C). La velocidad de carga no tiene efecto sobre la selección del grado de baja temperatura. Con respecto a las

magnitudes de carga, cuando el nivel de tránsito de diseño supera los 10 millones de ejes equivalentes se recomienda aumentar en un grado las temperaturas altas. Si supera los 30 millones de ejes equivalentes se debe aumentar en un grado las altas temperaturas.

b) Selección del Agregado Mineral.

Se identifican dos categorías de propiedades de los agregados en el sistema de Superpave para asegurar que los agregados seleccionados para el diseño de la mezcla sean aceptables: propiedades de consenso y propiedades de origen. Además, se desarrolló una nueva forma de especificación de la granulometría del agregado llamada estructura del agregado de diseño.

b.1.) Propiedades de Consenso.

Angularidad del Agregado Grueso. Esta propiedad proporciona un alto grado de fricción interna del agregado y resistencia al ahuellamiento. Se define como el porcentaje en peso del agregado mayor que 4.75 mm con una o más caras fracturadas, entendiéndose por cara fracturada como la superficie fracturada que ocupa más del 25 % del área del contorno de la partícula del agregado visible en esa orientación.

Angularidad del Agregado Fino. Esta propiedad asegura un alto grado de fricción interna del agregado fino y de la resistencia al ahuellamiento. Corresponde al porcentaje de vacíos de aire presente en los agregados, menores de 2.36 mm, levemente compactados. Contenidos de vacíos mayores significan más caras fracturadas.

Los valores de la tabla anterior corresponden a los porcentajes de vacíos para los agregados finos levemente compactados.

Partículas Alargadas y Chatas. Corresponde al porcentaje en peso del agregado grueso cuya relación entre las dimensiones máxima y mínima es mayor

que 5. Las partículas alargadas son indeseables porque tienden a quebrarse durante el proceso de compactación en la construcción y bajo el tránsito.

Contenido de Arcilla. El contenido de arcilla se debe evitar para que en una mezcla asfáltica no se pierda la cohesión entre los agregados pétreos y el material bituminoso. El contenido de arcilla es el porcentaje de material arcilloso presente en la fracción de agregados menor que 4.75 mm.

Las normas de consenso dependen del nivel de tránsito y de la posición de los agregados en la estructura del pavimento. Los materiales situados cerca de la superficie del pavimento sometidos a altos niveles de tránsito requieren normas de consenso más estrictas.

#### b.2.) Propiedades de Origen.

Tenacidad. Esta propiedad se relaciona con el porcentaje de pérdida de material en una mezcla de agregados durante el ensayo de desgaste Los Ángeles, en el cual se estima la resistencia del agregado grueso a la abrasión y degradación mecánica durante la manipulación, construcción y servicio.

Durabilidad. Es el porcentaje de pérdida del material en una mezcla de agregados durante el ensayo de durabilidad de los áridos bajo el ataque de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. El ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por la acción de los agentes climáticos durante la vida útil del pavimento.

Materiales Deletéreos. Corresponde al porcentaje en peso de los contaminantes como esquistos, madera, mica y carbón mezclados con los agregados. Puede aplicarse tanto a agregados finos como a gruesos.

#### Selección de la Estructura de Agregado de Diseño.

##### a) Establecer las Mezclas de Prueba.

Superpave utiliza el exponencial 0.45 en la carta granulométrica para definir una granulometría permitida. Una característica importante de la carta es la

granulometría de máxima densidad. Superpave usa la serie estándar de tamices de ASTM y los siguientes términos con respecto al tamaño del agregado:

-Tamaño máximo nominal: tamaño de tamiz mayor que el primer tamiz que retiene más del 10%.

-Tamaño máximo: tamaño de tamiz mayor que el tamaño máximo nominal.

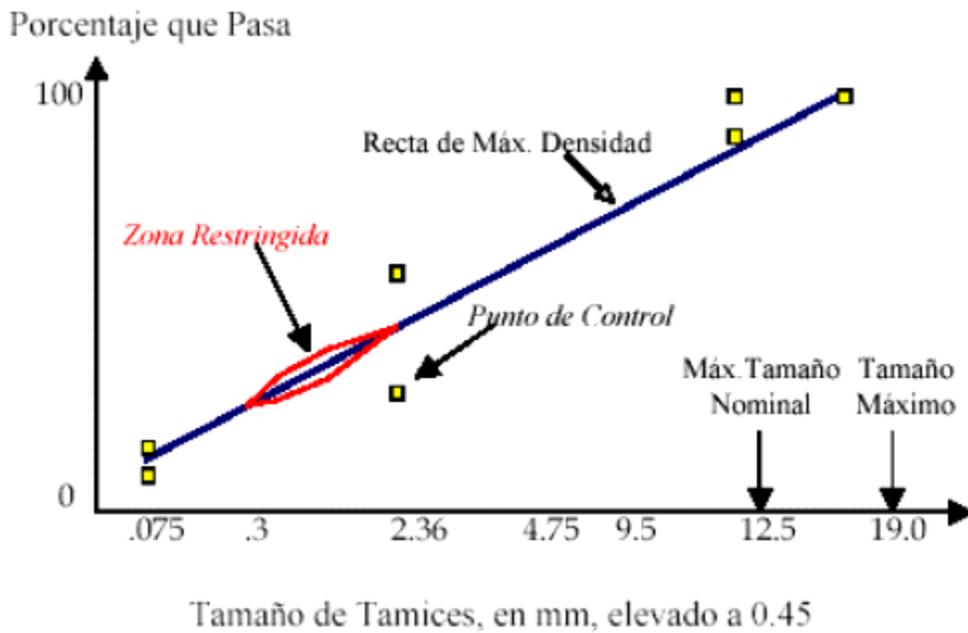
La granulometría correspondiente a la de máxima densidad representa la graduación para la cual las partículas del agregado se ajustan para conformar un volumen lo más compacto posible. Obviamente, esta granulometría debe evitarse, puesto que habría poco espacio entre los pétreos para permitir el desarrollo de una película de asfalto suficientemente gruesa para lograr una mezcla durable.

Superpave define dos conceptos para la especificación de la granulometría del agregado:

-Puntos de Control: son puntos de paso obligado para la curva granulométrica.

Pertenece al tamaño máximo nominal, un tamaño intermedio (2.36 mm) y un tamaño de polvo (0.075 mm).

-Zona Restringida: esta zona se ubica entre los tamaños intermedios (4.75 ó 2.36 mm) y 0.3 mm. Esta banda debe ser esquivada por la curva granulométrica, puesto que en la mayoría de los casos, las mezclas que caen en la zona restringida poseen mucha arena fina con respecto a la arena total, lo que hace que la mezcla tenga un comportamiento débil reflejado a través de la difícil compactación en la etapa de construcción y una menor resistencia a la deformación permanente durante la vida en servicio. Además resultan ser sensibles al contenido de asfalto y tienden a volverse plásticas.



#### Límites Granulométricos de Superpave. Mezcla de 12.5 mm

Superpave define seis tipos de mezclas en base al tamaño máximo nominal, según la tabla siguiente:

Denominación para Superpave	Tamaño Máximo Nominal, mm	Tamaño Máximo, mm
37,5 mm	37,5	50
25 mm	25	37,5
19 mm	19	25
12,5 mm	12,5	19
9,5 mm	9,5	12,5

Superpave recomienda que la granulometría sea cercana a los puntos de control de tamaño grueso para casos en que el tránsito aumente.

La selección de la estructura del agregado de diseño es un proceso de prueba y error. En este paso se mezcla, en diferentes porcentajes, los agregados disponibles en las pilas de acopio para llegar a la granulometría que satisface los requisitos de Superpave. Tres mezclas de prueba se emplean normalmente. Una mezcla de

prueba se considera aceptable si posee las propiedades volumétricas adecuadas según las especificaciones, lo que se verifica mediante ensayos.

b) Compactación de las Probetas de la Mezcla de Prueba.

b.1.) Determinación del Contenido de Asfalto Inicial de Prueba.

Lo primero es establecer el contenido de asfalto de prueba. La selección del contenido de asfalto consiste en variar y mezclar ciertas proporciones con la estructura de agregado de diseño para obtener las propiedades volumétricas y de compactación que cumplan los requisitos de diseño. El contenido de asfalto de prueba se determina a partir de la estimación del peso específico efectivo de la mezcla y según las fórmulas presentadas a continuación.

- Estimación de la Gravedad Específica Efectiva de la Mezcla de Agregados ( $G_{se}$  estimado):

$$G_{se} = G_{sb} + 0.8 * (G_{sa} - G_{sb})$$

en que:

$G_{se}$  : gravedad específica efectiva estimada de la mezcla de agregados.

$G_{sb}$  : gravedad específica bruta de la mezcla de agregados.

La Gravedad Específica Bruta ( $G_{sb}$ ) de la mezcla de agregados se determina con la siguiente relación:

$$G_{sb} = \frac{(P_1 + P_2 + P_3)}{\left(\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}\right)}$$

donde:

$P_i$  : porcentaje de peso de cada uno de los componentes del agregado en la mezcla.

$G_i$  : es la gravedad específica bruta de cada componente de la mezcla.

- Estimación del Volumen de Asfalto Absorbido en el Agregado ( $V_{ba}$ ):

$$V_{ba} = \frac{P_s * (1 - V_a)}{\left(\frac{P_b}{G_b}\right) + \left(\frac{P_s}{G_{se}}\right)} * \left(\frac{1}{G_{sb}} - \frac{1}{G_{se}}\right)$$

en que:

$P_s$  : porcentaje de agregado.

$V_a$  : volumen de vacíos de aire (se fija un valor de 0.04 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>).

$P_b$  : porcentaje de asfalto estimado.

$G_b$  : gravedad específica del asfalto.

$V_{ba}$  : volumen absorbido de asfalto estimado, en cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> de mezcla.

- Estimación del Volumen de Asfalto Efectivo ( $V_{be}$ ):

$$V_{be} = 0.081 - 0.02931 * (\ln(S_n))$$

en que:

$S_n$  : tamaño del tamiz máximo nominal de la mezcla de agregados (pulgadas).

- Contenido de Asfalto Inicial de Prueba ( $P_b$ ).

$$P_{bi} = \frac{G_b * (V_{be} + V_{ba})}{G_b * (V_{be} + V_{ba}) + W_s} * 100$$

$$W_s = \frac{(P_s * (1 - V_a))}{\left(\frac{P_b}{G_b} + \frac{P_s}{G_{se}}\right)}$$

en que:

$P_{bi}$  : porcentaje de asfalto, en peso de la mezcla.

$W_s$  : es el peso del agregado, en gramos.

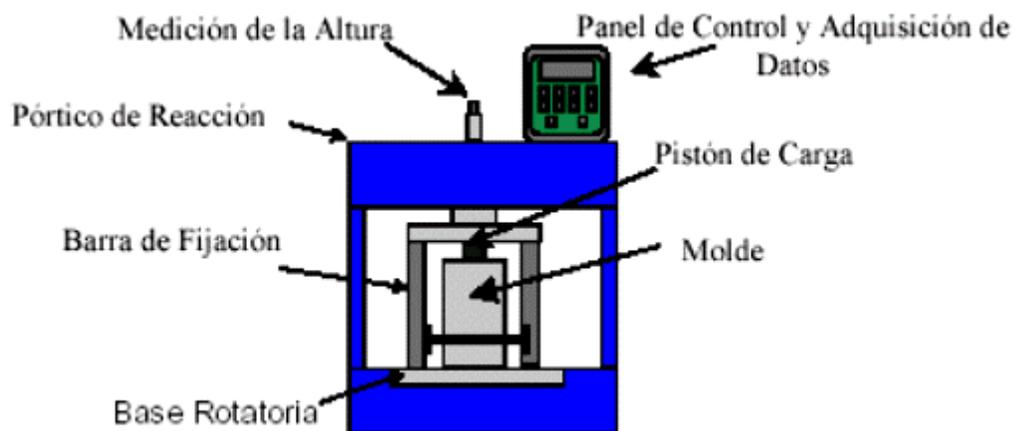
Después de obtenida la cantidad de asfalto de prueba, se procede a compactar un mínimo de dos probetas para cada mezcla de prueba. Otras dos probetas se preparan para determinar la gravedad específica máxima teórica ( $G_{mm}$ ).

Se debe realizar tres mezclas de prueba para determinar con qué granulometría es posible tener un 4% de contenido de vacíos de aire en la mezcla total.

#### b.2.) Compactador Giratorio Superpave.

Para confeccionar las probetas es necesario contar con un compactador tal que pueda densificar las mezclas en forma realista en comparación a las densidades alcanzadas bajo las condiciones climatológicas y de tránsito en los pavimentos. En la compactación de las probetas de mezclas Superpave se utiliza un compactador giratorio SGC (Superpave Gyrotory Compactor) con los siguientes componentes:

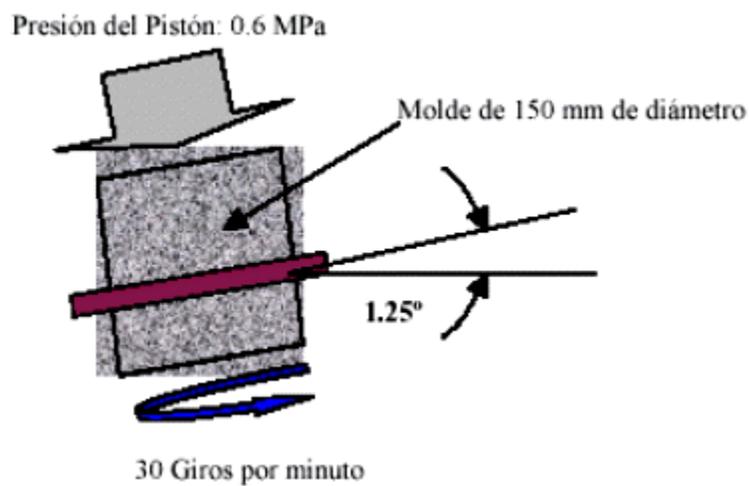
- Pórtico de Reacción, Base Rotatoria y un Motor.
- Sistema de Carga, Pistón de Carga, Medidor de Presión.
- Sistema de Medida, Registro de Altura.
- Molde y Plato de Base.



#### Compactador Giratorio Superpave

El pórtico de reacción proporciona un sistema no flexible contra el cual el pistón de carga presiona cuando se compactan las probetas. La base del SGC gira mediante la acción de un motor eléctrico a una velocidad constante de 30 revoluciones por minuto y soporta al molde cuando se realiza el proceso de compactación. El molde está posicionado según el ángulo de compactación del SGC

en un valor de  $1.25^\circ$  (ver figura siguiente) permitiendo una fuerza axial y fuerza de corte. Se trata de mantener una presión de compactación constante durante todo el proceso. Además, con este nuevo sistema, se puede estimar la gravedad específica de la probeta en todo instante a partir del peso del material en el molde y la geometría de la probeta (a través del diámetro fijo del molde y la altura de la probeta).



Ya conocido el compactador de Superpave, el siguiente paso es establecer el tamaño de la probeta de la mezcla de prueba y determinar los parámetros  $N_{\text{inicial}}$ ,  $N_{\text{diseño}}$  y  $N_{\text{máximo}}$ .

### b.3.) Números de Giros de Compactación.

En laboratorio, las dimensiones para la elaboración de las probetas dependerán de la cantidad de agregado que se utilice en cada caso:

-Si se utilizan 4500 gramos de agregado: se confecciona una probeta de 150 mm de diámetro con una altura aproximada de 115 mm.

-Si se utilizan 5500 gramos de agregado: se elabora una probeta de 150 mm de diámetro con una altura de 135 mm. En este caso, se cortarán a 50 mm de altura antes de ser ensayadas.

Respecto a los parámetros que relacionan la cantidad de giros para la compactación, se emplea el siguiente criterio:

$$\text{Log}_{10}N_{\text{máximo}} = 1.10 * \text{Log}_{10}N_{\text{diseño}}$$

$$\text{Log}_{10}N_{\text{inicial}} = 0.45 * \text{Log}_{10}N_{\text{diseño}}$$

donde:

$N_{\text{diseño}}$  : número de giros de diseño. Este parámetro depende del clima y tráfico.

$N_{\text{inicial}}$  : número inicial de giros. Factor importante, puesto que no es deseable tener mezclas que se compacten fácilmente.

$N_{\text{máximo}}$  : número máximo de giros. Este parámetro evita el obtener mezclas que se sigan compactando en su vida de servicio por acción del tráfico.

#### b.4.) Compactación de Probetas.

Para preparar las probetas de mezcla de prueba, los materiales se deben combinar en un mezclador mecánico con condiciones de temperatura que se relacionen con viscosidades comprendidas entre 0.170 Pa.s y 0.280 Pa.s.

Para la condición de mezclado:  $0.17 \pm 0.02$  Pa.s.

Para la condición de compactación:  $0.28 \pm 0.03$  Pa.s.

Después del mezclado, el material es sometido a 2 ó 4 horas de envejecimiento a corto plazo en un horno a una temperatura constante de 135°C. El envejecimiento por 4 horas se emplea cuando la mezcla tiene más de 2 % de absorción de agua. Se incluye el envejecimiento a corto plazo para simular lo que sucede en la planta durante el mezclado, almacenamiento y operaciones de colocación.

Luego del envejecimiento a corto plazo, se procede a la compactación de las probetas. Las probetas de ensayo se compactan usando el número máximo de giros ( $N_{\text{máximo}}$ ).

Para la realización de la compactación, se ubica un disco de papel en la parte superior del plato del compactador y se procede a cargar el molde (inclinado en un ángulo de giro de  $1.25^{\circ} \pm 0.02^{\circ}$ ) con el pistón a una presión de 600 kPa ( $\pm 18$  kPa).

El número de giros para la compactación se determina en función de la alta temperatura del aire para diseño correspondiente al lugar de la pavimentación y al nivel de tránsito, como ejemplo, ver siguiente tabla.

Esfuerzos del Compactador Giratorio de Superpave para cierto rango de temperaturas.

Después de la compactación, las probetas se desmoldan y se dejan enfriar (3 a 4 minutos) para luego generar una tabla de densidades.

b.5.) Propiedades de la Mezcla (Gmm, Gm).

Los datos de Superpave (tabla de densidades) se deben analizar con el cálculo de la gravedad específica bruta estimada (Gmb estimado), la gravedad específica bruta corregida (Gmb corregida) y la gravedad específica teórica máxima (Gmm) para cada giro deseado.

Durante la compactación, se mide la altura después de cada giro y se determina el volumen de la probeta compactada. De esta forma, se calcula la gravedad específica bruta “estimada” con la siguiente expresión:

$$G_{mb(estimado)} = \frac{\left( \frac{P_m}{V_m} \right)}{\left( 1 - \frac{g}{cm^3} \right)}$$

en que:

$G_{mb(estimado)}$  : gravedad específica bruta estimada durante la compactación.

$P_m$  : peso de la probeta (gramos).

$V_m$  : volumen de la probeta en el molde durante la compactación (cm<sup>3</sup>).

En Superpave, también se determina la gravedad específica bruta “medida” de la probeta final, según la norma AASHTO T166.

De esta manera, si se compara los valores correspondientes de Gmb”medido” y Gmb ”estimado” resulta una diferencia. Esta diferencia se debe a que, para el

cálculo de la gravedad específica bruta estimada se supone una probeta como un cilindro liso, lo cual no es real. El volumen real de la probeta es un poco menor por la presencia de vacíos que posee a su alrededor dada la rugosidad de sus lados. Por lo tanto, para corregir la diferencia de densidades que se genera, la gravedad específica bruta estimada se multiplica por un factor de corrección dado por la siguiente expresión:

$$C = \frac{G_{mb} \text{ "medido" }}{G_{mb} \text{ "estimado"}}$$

donde:

C : factor de corrección.

$G_{mb}$  "medido" : gravedad específica bruta medida después de un número de giros  $N_{m\acute{a}x}$ .

$G_{mb}$  "estimado": gravedad específica bruta estimada después de un número de giros  $N_{m\acute{a}x}$ .

Luego, la gravedad específica bruta estimada para todos los otros números de giros se puede arreglar mediante ese factor de corrección:

$$G_{mb \text{ "corregido" }} = C * G_{mb \text{ "estimado"}}$$

en que:

$G_{mb \text{ "corregido"}}$  : gravedad específica bruta corregida a cualquier número de giros.

$G_{mb \text{ "estimado"}}$  : gravedad específica bruta estimada a cualquier número de giros.

La gravedad específica máxima teórica "Gmm" se determina, para cada mezcla, según la norma AASHTO T209. La expresión para su cálculo es:

$$G_{mm} = \frac{100}{\left( \frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b} \right)}$$

donde:

$P_b$  : es el porcentaje en peso del ligante asfáltico inicial en la mezcla total.

$G_b$  : es la gravedad específica del ligante asfáltico.

$G_{mm}$  : es la gravedad específica teórica máxima de la mezcla.

c) Evaluación de las Mezclas de Prueba.

c.1.) Determinación del  $\%G_{mm}$  para  $N_{inicial}$ ,  $N_{diseño}$ ,  $N_{máximo}$ .

Para determinar el término “ $\%G_{mm}$ ”, correspondiente al cociente entre la gravedad específica bruta de la probeta (corregida) y la gravedad específica máxima teórica, se utiliza la siguiente expresión:

$$\%G_{mm} = \frac{G_{mb}^{corregido}}{G_{mm}}$$

en que:

$\%G_{mm}$  : valor porcentual correspondiente al cociente entre la gravedad específica bruta corregida y la gravedad específica máxima teórica.

Posteriormente, se determina el término “ $\%G_{mm}$ ” para cada uno de los giros de compactación, es decir, para  $N_{inicial}$ ,  $N_{diseño}$ ,  $N_{máximo}$ . Esto se realiza para cada probeta y para cada mezcla de prueba. La siguiente figura ilustra la gráfica de compactación para los números de giros determinados sobre una mezcla de prueba conformada por dos probetas.

c.2.) Determinación del Porcentaje de Vacíos de Aire y el VAM ( $\%Vacíos$  y  $\%VAM$ ).

El porcentaje de vacíos de aire en la mezcla total y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral se determina para el número de giros de diseño de compactación, es decir, para  $N_{diseño}$ .

- Porcentaje de Vacíos de Aire en la Mezcla:

$$\%Vacíos \text{ de aire} = 100 - \%G_{mm} @ N_{diseño} \text{ en que:}$$

$\%G_{mm} @ N_{diseño}$ : valor porcentual de la gravedad específica máxima teórica para  $N_{diseño}$ .

-Porcentaje de Vacíos de Aire en el Agregado Mineral (%VAM):

$$\%VAM = 100 - \left( \frac{\%G_{mm} @ N_{diseño} * G_{mm} * P_s}{G_{sb}} \right)$$

en que:

$\%G_{mm} @ N_{diseño}$ : valor porcentual de la gravedad específica máxima teórica para  $N_{diseño}$ .

$G_{mm}$ : gravedad específica máxima teórica.

$P_s$ : porcentaje de contenido de agregado en la mezcla respecto al peso total de la mezcla.

$G_{sb}$ : gravedad específica bruta (Bulk) del agregado.

Además, la Gravedad Específica Bruta (Bulk) del Agregado Combinado ( $G_{sb}$ ) está dada por la siguiente expresión:

$$G_{sb} = \frac{(P_1 + P_2 + P_3)}{\left( \frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3} \right)}$$

donde:

$P_i$ : es el porcentaje de peso de cada uno de los componentes del agregado en la mezcla.

$G_i$ : es la gravedad específica bruta de cada componente de la mezcla.

c.3.) Estimación del Contenido de Asfalto para un 4% de Vacíos de Aire.

Se debe determinar para cada una de las muestras un contenido de asfalto estimado para alcanzar un 4% de vacíos de aire en la mezcla total, es decir, un 96% de  $G_{mm}$  para el  $N_{diseño}$ . Para esto, se emplea la siguiente fórmula empírica:

$$P_{b,estimado} = P_{bi} - (0.4 * (4 - V_a))$$

en que:

$P_{b, estimado}$  : porcentaje de asfalto estimado.

$P_{bi}$  : porcentaje inicial de asfalto de prueba.

$V_a$  : porcentaje de vacíos de aire para  $N_{diseño}$ .

c.4.) Estimación de las Propiedades Volumétricas (VAM y VFA) para el contenido de asfalto estimado.

- Estimación del VAM:

$$\%VAM_{estimado} = \%VAM_{inicial} + C * (4 - V_a)$$

donde:

$\%VAM_{inicial}$  : es el  $\%VAM$  para el contenido de asfalto inicial de prueba.

-Estimación del  $\%VFA$ :

$$\%VFA_{estimado} = \left[ \frac{(\%VAM_{estimado} - 4)}{\%VAM_{estimado}} \right] * 100\%$$

c.5.) Determinación de la relación Polvo-Asfalto.

Para la relación polvo-asfalto se especifica un rango. Este criterio es el mismo para todos los niveles de tránsito. Se determina como el porcentaje en peso del material que pasa el tamiz 0.075 mm (vía húmeda) dividido por la cantidad de asfalto efectivo. El contenido de asfalto efectivo se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{be, estimado} = -(P_s * G_b) * \left[ \frac{(G_{se} - G_{sb})}{(G_{se} * G_{sb})} \right] + P_{b, estimado}$$

en que:

$P_{be, estimado}$  : cantidad de asfalto efectivo estimado, en peso de la mezcla.

$P_s$  : porcentaje de contenido de agregado en la mezcla respecto al peso total de la mezcla.

$G_{sb}$  : gravedad específica bruta del agregado.

$G_{se}$  : gravedad específica efectiva.

La gravedad específica efectiva está dada por la siguiente fórmula:

$$G_{se} = \frac{(100 - P_b)}{\left( \frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b} \right)}$$

donde:

$P_b$  : es el porcentaje en peso del ligante asfáltico inicial en la mezcla total.

$G_b$  : es la gravedad específica del ligante asfáltico.

$G_{mm}$  : es la gravedad específica teórica máxima de la mezcla.

-Cantidad de Polvo en la Mezcla.

$$DP = \frac{P_{0.075}}{P_{be, estimado}}$$

El rango permisible para la relación polvo-asfalto está dado por la siguiente condición:

$$0.6 \leq \frac{\% \text{ Peso Tamiz } 0.075}{\% \text{ Peso Asfalto Efectivo}} \leq 1.2$$

donde: Asfalto Efectivo = Asfalto Total - Asfalto Absorbido.

c.6.) Comparar las Propiedades de la Mezcla con los Criterios.

Finalmente, los valores calculados para las propiedades volumétricas de la mezcla deben ser verificados con los criterios establecidos. Las propiedades que se deben chequear corresponden a:

- % Vacíos de aire.
- % VAM.
- % VFA.
- % $G_{mm}$  @  $N_{inicial}$ .
- % $G_{mm}$  @  $N_{máximo}$ .

Después de verificar las propiedades volumétricas, se selecciona la estructura del agregado de diseño que cumpla todas las exigencia del proyecto.

### Selección del Contenido de Asfalto de Diseño.

a) Compactación de Probetas con la Estructura del Agregado de Diseño para múltiples contenidos de asfalto.

Con la estructura del agregado de diseño se compactan probetas con distintos contenidos de asfalto. Después se evalúan las propiedades de las mezclas para determinar el porcentaje definitivo de asfalto.

Las pruebas se realizan con los siguientes contenidos de asfalto:

- Contenido Estimativo de Asfalto.
- Contenido Estimativo de Asfalto  $\pm 0.5\%$ .
- Contenido Estimativo de Asfalto  $\pm 1.0\%$ .

También se determina la gravedad específica máxima teórica para el contenido de asfalto estimado. Las probetas se preparan de la misma manera que las mezclas determinadas para la selección de la estructura del agregado.

b) Determinación de las Propiedades de la Mezcla versus Contenido de Asfalto.

De la misma forma que se operó para la selección de la estructura del agregado, en esta parte se determina el valor  $\%G_{mm}$  para  $N_{inicial}$ ,  $N_{diseño}$ ,  $N_{máximo}$ .

Posteriormente, se determina las propiedades volumétricas de la mezcla (%vacíos de aire, %VAM, %VFA). También se calcula la relación polvo-asfalto y por último, se grafican las propiedades volumétricas con respecto al contenido de asfalto, según las figuras que se detallaran más adelante.

b.1.) Cálculo de Vacíos en el Agregado Mineral (VAM).

El valor del VAM está dado por:

$$VAM = 100 - \left[ \frac{(G_{mb} * P_s)}{G_{sb}} \right]$$

donde

$G_{mb}$  : es la gravedad específica bruta de la mezcla compactada.

b.2.) Cálculo del Porcentaje de Vacíos de Aire ( $P_a$  o  $V_a$ ).

La fórmula es:

$$P_a = V_a = 100 * \left[ \frac{(G_{mm} - G_{mb})}{G_{mm}} \right]$$

b.3.) Cálculo del Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto ( $P_{fa}$ ).

El cálculo está dado por:

$$P_{fa} = 100 * \left[ \frac{(VAM - P_a)}{VAM} \right]$$

b.4.) Relación Polvo-Asfalto.

$$DP = \frac{P_{0.075}}{P_{be}}$$

b.5.) Gráfico de las Propiedades Volumétricas de la Mezcla v/s Porcentaje de Asfalto.

Las curvas que se grafican son las siguientes:

-Contenido de Vacíos de Aire v/s Contenido de Asfalto.

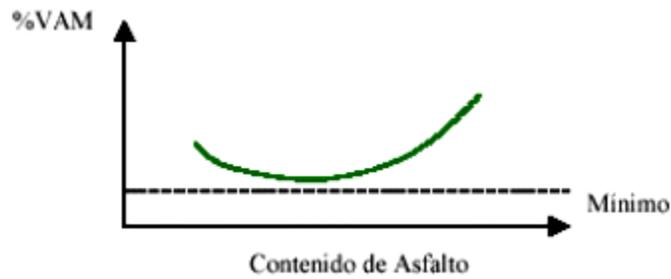
-VAM v/s Contenido de Asfalto.

-Contenido de Vacíos Llenos de Asfalto v/s Contenido de Asfalto.

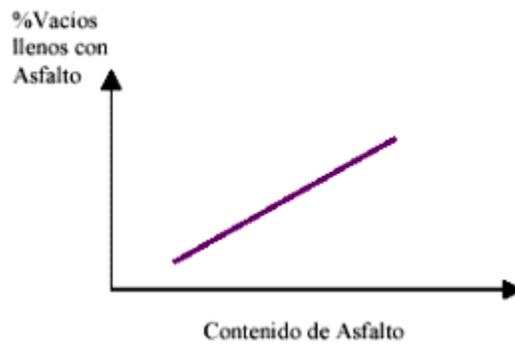
Las curvas, en forma cualitativa, son las siguientes:



Porcentaje de Vacíos de Aire v/s Contenido de Asfalto



VAM v/s Contenido de Asfalto



Vacíos llenos con Asfalto v/s Contenido de Asfalto

### c) Selección del Contenido de Asfalto.

En este punto, se determina la cantidad de asfalto para un 4% de vacíos de aire según los gráficos mostrados anteriormente.

Una vez seleccionado el contenido de asfalto para el 4% de vacíos, se evalúa en el resto de las propiedades de la mezcla, es decir, se determina el %VAM y el %VFA para dicho contenido de asfalto.

Finalmente se comparan las propiedades obtenidas según los siguientes criterios:

- Requisitos Volumétricos.
- Vacíos de Aire: contenido de un 4% en la mezcla total.
- VAM : según tabla
- Vacíos llenos de Asfalto (VFA): según tabla

## Requerimientos de Superpave para el VAM.

Máximo Tamaño Nominal del Agregado (mm)	Minimo % de VAM
9,5	15
12,5	14
19	13
25	12
37,5	11

Evaluación de la Sensibilidad a la Humedad de la Mezcla Asfáltica de Diseño según AASHTO T283.

Esta condición permite:

- Evaluar la adherencia efectiva entre la cantidad de asfalto de diseño y el agregado de diseño.
- Evaluar la efectividad relativa de aditivos “anti-desprendimiento”.

Para lo anterior es necesario compactar seis (6) probetas con una aproximación del 7% de vacíos de aire. Las probetas se separan en dos subgrupos conformados cada uno por tres probetas. El primer subgrupo se considera un Subgrupo de Control. El segundo, es llamado Subgrupo Acondicionado.

Inicialmente, el Subgrupo de Control se deja intacto, mientras que el Subgrupo Acondicionado se somete a una saturación por vacío, a un ciclo de congelamiento, seguido por 24 horas de deshielo a 60°C. Posteriormente, todas las probetas son ensayadas para determinar su resistencia a la tracción indirecta.

La sensibilidad a la humedad se determina con la siguiente expresión:

$$\text{Sensibilidad a la Humedad} = \frac{\text{Resist. a la Tracción Indirecta Subgrupo Acondicionado}}{\text{Resist. A Tracción Indirecta Subgrupo de Control}}$$

El valor mínimo para la relación de resistencias a tracción indirecta debe ser 80%.

### CAPITULO III

#### 3.1.- PLANTAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Una planta de asfalto es un conjunto de equipos mecánicos y electrónicos en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con asfalto para producir una mezcla asfáltica en caliente que debe cumplir con ciertas especificaciones.

La operación de una planta puede separarse en tres áreas:

- Planta de áridos,
- Laboratorio,
- Planta de producción de mezcla (o planta de asfalto).

##### 3.1.1.- Planta de áridos

La planta de áridos o planta de chancado es el lugar donde se producen el material granular a usar en la mezcla. Generalmente se compra el material natural a un subcontratista, y se mantiene en grandes acopios. En la planta, este material natural, previamente aprobado, es sometido a un proceso de chancado y tamizado según sean las necesidades de producción de mezcla. Luego, los distintos tamaños de áridos son homogeneizados y trasladados a los acopios de trabajo de la planta de producción de mezcla.

Dependiendo de la producción requerida, una planta de chancado debe contar con un chancador primario (de mandíbula) y/o uno o más secundarios (de cono), harneros, cintas de alimentación a éstos y cintas de salida. Se debe disponer de cargadores frontales u otro medio de transporte para el traslado de los agregados.

Un chancador de mandíbula parte la piedra hasta reducirla a un tamaño aproximado de 4". El chancador de cono, en cambio, no acepta árido tan grande,

sino que recibe material ya chancado y lo parte aún más. La ventaja de tener un chancador primario es que éste, al romper la piedra natural produce polvo de roca que puede sustituir la incorporación adicional de arena o parte de ella.

Planta de chancado



Chancador de cono



### 3.1.2.- Laboratorio

El laboratorio instalado en la planta cumple un rol muy importante dentro de ésta, pues es la unidad encargada de realizar las inspecciones y ensayos necesarios para controlar y aprobar las distintas fases del proceso. El equipo con que cuenta

depende de su producción y del control que se lleve sobre el proceso. Si se diseña en el mismo laboratorio deberá estar mejor equipado que si sólo se hacen los controles rutinarios o si estos son hechos por un laboratorio externo.

Una vez aprobado el diseño y la aptitud de los materiales, deben hacerse controles rutinarios mínimos. Diariamente debe controlarse la humedad de los áridos, la granulometría de los acopios de trabajo y semanalmente las proporciones de chancado y laja. También debe controlarse la mezcla terminada haciendo extracciones para determinar el porcentaje de asfalto y junto con ella una revisión de la granulometría.

La temperatura es otro factor que debe controlarse, tanto de los áridos y del asfalto, como de la mezcla terminada.

Cabe mencionar que entre los laboratorios que sólo controlan el proceso también existe gran variedad, ya que, como no hay una regulación rigurosa del control de calidad, en cada planta se controla lo que se estima conveniente. El equipamiento que cada uno tiene va estrictamente ligado a los ensayos que realice. Por ejemplo, un laboratorio que no diseña pero controla el proceso de mezclado, debiera (según lo propuesto en la normativa) contar con el equipamiento para realizar los siguientes ensayos:

- Granulometría , según.
- Cubicidad de partículas (chancado y laja),
- Adherencia agregado-bitumen.
- Penetración del material bituminoso, según
- Determinación del contenido de bitumen en mezclas (ensaye de extracción),
- Análisis granulométrico de agregados provenientes de extracción asfáltica,
- Análisis de resistencia a la deformación plástica (indicando fluencia y estabilidad) de mezclas bituminosas usando el aparato Marshall,

El equipamiento para los siguientes ensayos puede prescindirse en planta siempre y cuando se realicen en un laboratorio externo.

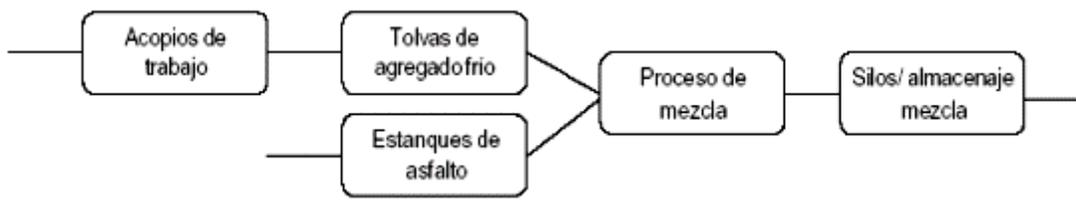
- Desgaste los Ángeles, según la norma.
- Índice plasticidad,
- Desintegración por sulfatos,
- Sales solubles,
- Equivalente de arena,

Laboratorio



### 3.1.3.- Planta de producción de mezcla

Hay operaciones que son comunes a todos los tipos de planta. Estas incluyen: almacenamiento y alimentación del agregado frío; estanques de almacenamiento de asfalto; almacenamiento de mezcla; pesaje y despacho. El proceso de mezcla difiere mucho entre una planta y otra. El esquema general de una planta asfáltica es el siguiente:



Desde el acopio de trabajo, el agregado es trasladado hacia los buzones de alimentación o tolvas, generalmente, mediante un cargador frontal. Las compuertas, ubicadas debajo de las tolvas, alimentan la cinta transportadora que lleva los agregados al secador en cantidades controladas. Deben existir controles de alimentación que regulen la cantidad de agregado que sale de cada tolva, proporcionando de este modo un flujo uniforme y continuo de mezcla de agregado correctamente graduada hacia el secador.

Estos alimentadores pueden ser continuos, vibratorios o de aspas, siendo los primeros los más usados. Los estanques de almacenamiento de asfalto están equipados para calentar el material y mantenerlo a la temperatura de empleo. Normalmente están equipados con un sistema de circulación de aceite caliente que los mantiene a la temperatura deseada. Mediante una bomba, el asfalto es llevado al mezclador. La mayoría de las plantas están equipadas con silos de almacenaje temporal de mezcla asfáltica en caliente, con el fin de prevenir paros en la planta debido a interrupciones en las operaciones de pavimentación. La mezcla en caliente recién elaborada es depositada, por medio de un elevador de material caliente, en la parte superior del silo y es descargada en los camiones por la parte baja. En silos de gran tamaño (altura mayor a 5 metros) es conveniente tener un pre-silo que sirve para evitar segregaciones en la caída vertical, dentro de este.

En el sitio de carga de camiones generalmente existe un sistema de pesaje de camiones para llevar un control de la cantidad de mezcla que sale de la planta. En caso de no contar con este sistema se debe llevar un control volumétrico de los despachos.

Tolvas de alimentación Almacenan y entregan a la cinta colectora los áridos que más tarde serán pesados. Cada tolva tiene compuertas regulables y un sistema de variadores que permite ajustar las toneladas por hora de cada tolva de acuerdo a los requerimientos de cada mezcla en particular.



Estanques de cemento asfáltico: la planta cuenta con estanques de cemento asfáltico. Los estanques se encuentran provistos de sistemas de calentamiento y mantención de temperatura mediante recirculación de aceite térmico mediante serpentines. La temperatura de asfalto promedio a la que se mantiene son 150°C.



Filtro de mangas Es un tipo de filtro fabricado para minimizar y controlar las emisiones de material particulado desde el tambor. Este sistema en seco, para capturar las partículas en suspensión utiliza mangas de nomex que en total suman 360. El polvo se deposita sobre las mangas en capas, cae de las mangas por una variación de presión que produce un cambio en la forma de la manga, con lo que el polvo adosado se desprende.



Componentes:

Damper de aislación: interrumpe el flujo de aire hacia el filtro cuando la temperatura de los gases de entrada al filtro exceden el rango de trabajo permitido.

Nomex: material utilizado para la fabricación de las mangas. Es altamente resistente a la temperatura, soportando hasta 180°C.

Extractor: el extractor cumple una doble función: extrae los gases calientes del tambor mezclador, arrastrando a la vez el material más fino el cual, es colectado en las mangas (material menor a la malla #100) y además provee alrededor del 60% del aire que necesita el quemador para una buena combustión.

Sinfines colectores: una vez que el polvo es desprendido de las mangas, es recolectado en el fondo del filtro por un sistema de sinfines que vuelven a inyectar el fino al tambor pero directamente en la zona de mezclado.

Rotoair: el filtro está dividido en tres cuerpos no independientes. Cada cuerpo tiene un Roto Air cuya función es crear una variación de presión para producir la deformación de las mangas.





Motovariadores: motor que mueve la cinta de alimentación y que varía la velocidad de ésta, incrementando o decreciendo la cantidad de material. Esta operación se realiza por el operador desde la cabina de control.

Cinta inclinada (Pesómetro continuo): es la cinta donde se pesa el material que entregan las tolvas de alimentación.



Componentes:

Tensor: mediante un peso mantiene una tensión constante en la cinta, adecuada para el correcto funcionamiento del sistema de pesaje.

Sistema de pesaje: utiliza una celda de carga conectada a un procesador.

Tambor mezclador Seca y mezcla los agregados pétreos con el cemento asfáltico. Este proceso se realiza en caliente, dando como resultado una mezcla de muy buena calidad. La planta está diseñada para producir 100 Ton/hora en condiciones de trabajo normales (5% de humedad y nivel del mar).



El diseño del tambor mezclador es de flujo paralelo. El tambor se divide en dos partes divididas por una pantalla. En la primera parte los áridos son secados y calentados a través de un sistema de canales y peinetas que producen una cortina (cascada) de material que atraviesa la llama. En una segunda parte el material granular ya seco y caliente es mezclado con el asfalto produciéndose la mezcla que después es descargada al elevador.

Componentes:

Tambor: porción del mezclador que seca y mezcla los áridos mediante una serie de paletas en su interior para más tarde ser mezclado con el cemento asfáltico.

Termocupla: Instrumentos sensibles a las variaciones de temperaturas que sirven para monitorear la temperatura de la mezcla y de los gases a la salida del tambor.

Soplador: provee el aire requerido por el quemador para la combustión, el quemador puede usar indistintamente diesel o gas natural, en este caso se utiliza diesel.

Sistema de inyección de asfalto: conducto interno usado para inyectar el cemento asfáltico en la sección de mezclado del tambor.



Sistema de inyección de finos: sinfín usado para la inyección de finos (provenientes desde el filtro de mangas) dentro del tambor, cerca de la zona de inyección de asfalto.

Quemador Provee el calor requerido en el interior del tambor para remover la humedad de los áridos y aumentar su temperatura. El quemador es de tipo mixto, que permite trabajar con diesel o gas natural. Actualmente el quemador funciona con diesel.

Componentes:

Cabeza del quemador: incluye el atomizador, cuerpo, damper de aire y válvula de combustible. El control auto / manual está montado en la cabina de control.

Soplador: entrega aire primario, alrededor del 40% necesario para atomizar el combustible.



Bomba de combustible: bombea el combustible desde los estanques al quemador.

Silos y elevador El elevador transfiere la mezcla caliente desde el mezclador al silo donde es almacenada y dispensada directo a los camiones. Los silos tienen una configuración doble, es decir, dos silos con capacidad para almacenar 17 ton de mezcla cada uno, durante 5 horas aproximadamente, dependiendo del tipo de mezcla y las condiciones climáticas.

Componentes:

Presilo: sistema que permite disminuir prácticamente la segregación de la mezcla al ser descargada al silo producto de la altura.



Compuertas de descarga: cada silo posee dos compuertas de descarga independientes, lo que permite una mejor carga de cualquier tipo de vehículos.



Cabina de operación y control contiene todos los controles de la planta, partida y parada de todos los motores, aumento / disminución de la llama del quemador, aumento / disminución de los agregados pétreos, cemento asfáltico y de todos los materiales necesarios de acuerdo con el diseño de mezclas.

### Componentes:

Control automático del quemador: un control electrónico monitorea la temperatura de la mezcla y de los gases de salida del tambor y ajusta la llama para entregar el calor necesario para producir la mezcla a la temperatura fijada.

Blending control: el procesador recibe información desde el sistema de pesaje de la cinta inclinada (pesómetro continuo) y con esta información y la humedad de cada uno de los componentes del material granular determinan la cantidad de asfalto a inyectar.

Control de alimentadores: un panel contiene los comandos de star/stop, aumento / disminución de los alimentadores, estos solo se ocupan en caso de trabajo manual.



Control de silos: panel de control que permite seleccionar el silo de almacenamiento y la carga de los camiones. Además permite bloquear los silos y sellarlos.



La diferencia entre plantas, la hace el método de mezclado. Existen dos grandes tipos de plantas que son las plantas Batch y las plantas de tambor. Las diferencias en las etapas de preparación de mezcla son las siguientes.

La planta Batch o de dosificación (discontinua de dosificación en caliente) se caracteriza porque produce la mezcla en caliente en cargas, produciendo una carga tras otra.

Los agregados que salen de las tolvas frías, son proporcionados, mediante una cinta transportadora, a un secador en donde son secados y calentados. Los colectores de polvo remueven el polvo del escape del secador y los gases restantes del escape son eliminados a través de la chimenea de escape de la planta. Después, los agregados son llevados por un elevador de material en caliente hacia la unidad de cribado o tamizado, la cual, separa el material en fracciones de diferente tamaño, y lo deposita en tolvas calientes separadas para su almacenaje temporal. Luego los agregados y el relleno mineral (cuando este es usado) son medidos en una caja pesadora y son descargados dentro de una cámara mezcladora o revolvedora. El cemento asfáltico caliente, proveniente del estanque de almacenamiento es bombeado hacia la cubeta pesadora de asfalto, la cual pesa el cemento asfáltico

antes de ser descargado en la cámara mezcladora, en donde es combinado en su totalidad con los agregados y el relleno mineral para formar una carga. Esta mezcla puede ser directamente descargada en los camiones o almacenada temporalmente en el silo.

La diferencia entre esta planta (Batch) y una continua de dosificación en caliente está en la medición del agregado que sale del secador: en la planta Batch es por peso y en la continua por flujo volumétrico.

#### 3.1.4.- Planta Batch



##### 3.1.4.1.-Componentes principales de una planta Batch

1 tolva fría

2 elevador de material en frío

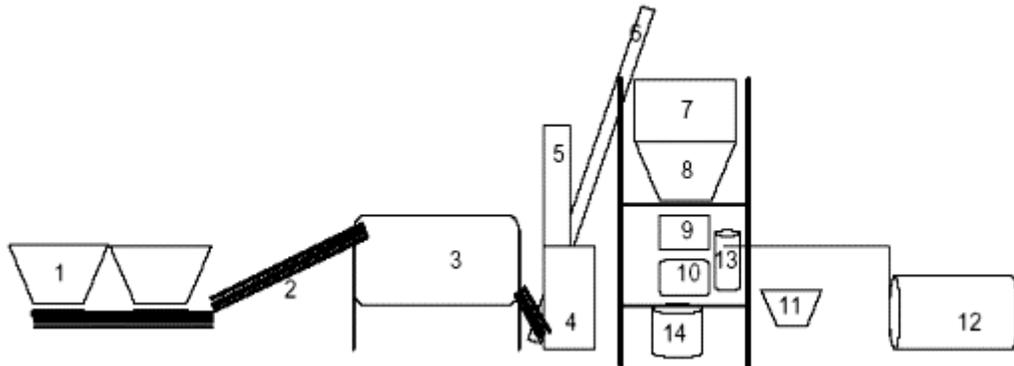
3 secador

4 colector de polvo

5 chimenea

- 6 elevador de material en caliente
- 7 unidad de cribado
- 8 tolvas calientes
- 9 caja pesadora
- 10 unidad de mezclado o amasadero
- 11 depósito de relleno mineral
- 12 depósito de cemento asfáltico caliente
- 13 cubeta pesadora de asfalto
- 14 silo de almacenaje de mezcla (opcional)

En la figura se muestra un dibujo esquemático de una planta Batch



En una planta Drum Mixer o de tambor, la graduación y la uniformidad de la mezcla dependen completamente del sistema de alimentación en frío. La banda alimentadora recibe la proporción exacta de cada agregado. Un sistema automático de pesaje monitorea la cantidad de agregado que entra al tambor (también llamado secador). El sistema de pesaje está entrelazado con los controles de la bomba de asfalto, la cual extrae asfalto del estanque de almacenamiento y lo envía al tambor de acuerdo a la medida corregida de peso seco del agregado que pasa hacia el tambor. La acción rotatoria del tambor seca, calienta y combina totalmente el asfalto y el agregado. Un sistema de colector de polvo atrapa el exceso de polvo que escapa del tambor, que puede re-alimentar material al sistema o puede desechar el polvo.

Después de salir del tambor, la mezcla en caliente es llevada por una cinta en caliente hasta el silo de almacenaje de mezcla y luego es descargada a los camiones. Todas las operaciones de la planta son monitoreadas y controladas con instrumentos que se encuentran en la cabina de control.

Entre las operaciones que debiera controlarse en la cabina de control están: el flujo de asfalto que entra al tambor, el flujo de áridos que sale de cada tolva, el peso/hora que pasa por la cinta antes del tambor, la temperatura del cemento asfáltico y de la mezcla a la salida del tambor.

### 3.1.5.- Planta tipo Tambor



#### 3.1.5.1.- Componentes principales de una planta tipo Tambor

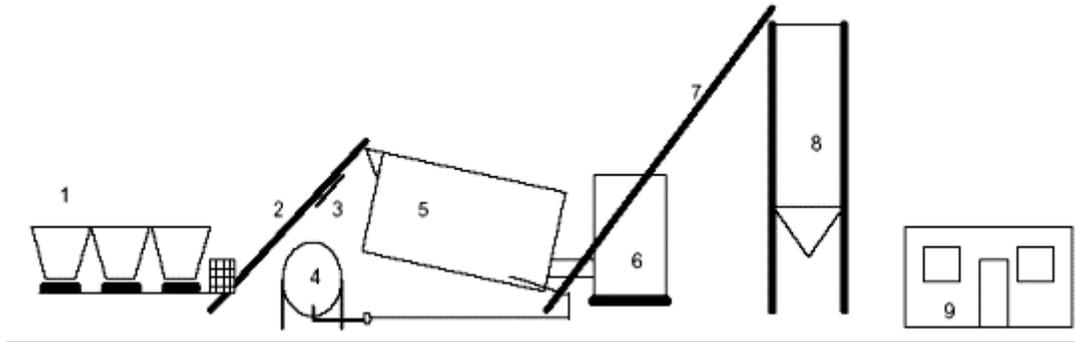
- 1 tolvas de alimentación en frío
- 2 cinta transportadora de áridos
- 3 sistema automático de pesaje
- 4 estanque de almacenamiento de asfalto
- 5 tambor secador – mezclador
- 6 colector de polvo

7 cinta elevadora de mezcla

8 silo

9 cabina de control

En la figura se muestra un dibujo esquemático de una planta Drum Mixer



### 3.2.- CLASIFICACIÓN DE PLANTAS ASFÁLTICAS

Hay distintos parámetros por los cuales las plantas asfálticas pueden ser clasificadas. Entre ellos destacan los siguientes:

Discontinua (gravimétrica o por pesadas): controlan la dosis de agregados pétreos y asfalto por pesadas en una báscula.

Continua: controlan la dosis de agregados pétreos por el flujo o volumen que sale de las tolvas de alimentación.

Dosificación de árido en frío: el árido es dosificado antes de entrar al secador.

Dosificación de árido en caliente: existe una dosificación preliminar en frío y otra más exacta en caliente entre el secador y el mezclador.

Batch: planta discontinua de dosificación en caliente

De tambor (drum mixer): planta continua de dosificación en frío. El agregado se seca y se combina con el asfalto en la misma sección del equipo.

El tambor de una planta puede ser de:

Flujo paralelo: la llama y los áridos entran en la misma dirección.

Contraflujo: la llama y los áridos entran al tambor en direcciones opuestas.

El filtro de una planta puede ser:

Filtro húmedo: atrapa las partículas de polvo en gotas de agua y las remueve de los gases de escape. El polvo atrapado en las gotas no se puede recuperar por lo que hay que incorporar finos a la mezcla. El agua de desecho o lodo es otra fuente de polución.

Filtro seco: el polvo atrapado por este, es recuperado e incorporado al secador.

Según su movilidad se pueden clasificar en:

Estacionaria: fija en un lugar.

Portátil: montada sobre ruedas.

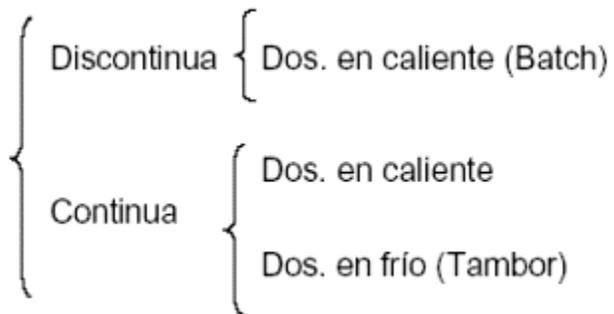
Una vez determinado el tipo de planta se puede hacer una especificación de planta más exacta según su capacidad.

La capacidad de producción de una planta es determinada por los siguientes factores:

- Porcentaje de agua que se remueve de los agregados.
- La granulometría de los agregados del diseño de mezcla.
- La elevación de la operación de la planta por sobre el nivel del mar.
- La elevación de la temperatura de mezcla por sobre la temperatura ambiente.
- Consumo y combustión eficaz de una cantidad adecuada de combustible.
- Remoción eficaz de toda la descarga de gases que se generan.
- Sistema de tiro adecuado y capacidad de descarga del gas filtrado.
- Pérdidas por filtración, pérdidas en la envoltura externa, % de exceso de aire y descarga de gases.
- Tipo de agregados, peso de los agregados.
- Tipo de combustible usado en la combustión.
- Optimo recubrimiento y densidad de los agregados procesados en el tambor.
- Diámetro del tambor, largo del tambor, RPM del tambor y velocidad de descarga de los gases de salida.

Cuando estos factores se analizan y determinan, la capacidad de producción de la planta (T/h) puede ser establecida con un 5% de error. Las plantas asfálticas discontinuas, que son las más antiguas, solo se dosifican en caliente, en cambio las continuas pueden ser de dosificación tanto en caliente como en frío. Las plantas continuas de dosificación en frío son las llamadas plantas de tambor, son las más usadas hoy en día y la producción y uso de este diseño de planta es la tendencia del mercado mundial.

En resumen, el esquema de clasificación de plantas es el siguiente:



La ventaja de las plantas discontinuas es que al ser pesada cada componente de la mezcla resulta que la resultante es exactamente lo que se diseñó, en cambio en las continuas existen variaciones al empezar o terminar un tipo determinado de mezcla. Otra ventaja es que ésta es alrededor de un 30% más barata que una continua. Por otro lado, una planta continua es mucho más eficiente con respecto a la producción, más simples de operar y de mantener. Hay que considerar también que una planta discontinua está operada por personas y éstas son más propensas a equivocarse que una planta automatizada como es el caso de las plantas continuas.

Existen dos grandes tipos de filtro o colector de polvo: el filtro húmedo y el filtro seco. El filtro húmedo extrae el polvo mineral que no se pudo mezclar y los gases contaminantes y los lleva a una cámara en donde son rociados con agua

hasta decantar. Luego van a dar a una piscina en donde el agua es limpiada antes de ser desechada.

En un filtro seco, en cambio, el material particulado es extraído y llevado a un filtro de mangas que por diferencias de presión produce un cambio en la forma de las mangas, con lo que el polvo adosado se desprende y cae en el fondo del filtro donde es recolectado por un sistema de sinfines que vuelven a inyectar el fino al tambor directamente a la zona de mezclado. El extractor que es usado para extraer los gases calientes del tambor junto con los finos, además provee gran parte del aire que necesita el quemador para una buena combustión.

El filtro seco es más eficiente y es capaz de extraer partículas mucho más pequeñas (1 micrón) que el filtro húmedo (5 micrones).

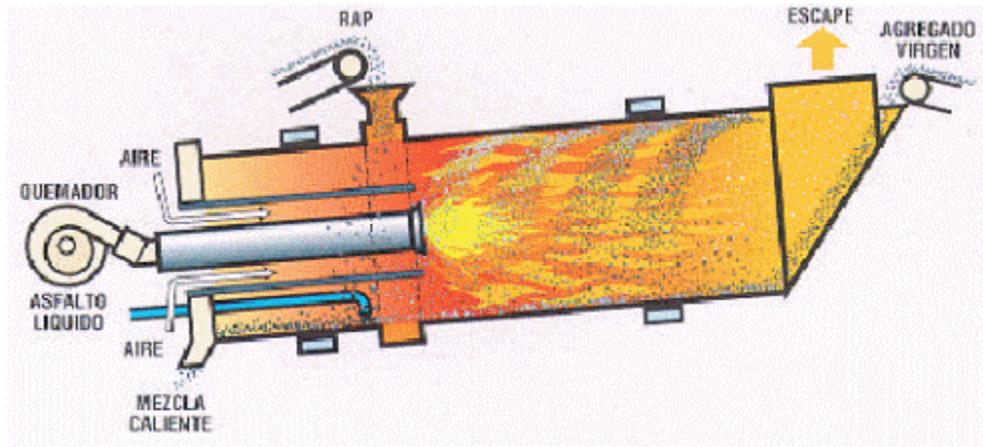
Existen dos tipos de contaminación en una planta de tambor: por emisión de polvo y por emisión de gases. La normativa chilena sólo exige un control del material particulado y para ello basta un filtro o colector de polvo.

La gran ventaja de una planta con tambor de contraflujo con respecto a una de flujo paralelo es que la primera, por su geometría, tiene un mejor control sobre los gases, ya que, en el tambor los gases son quemados o atrapados por la mezcla de forma más eficiente. En un tambor de contraflujo la temperatura de los gases de salida es más baja que en el de flujo paralelo. Las temperaturas bajas permiten porcentajes de producción más altos y al mismo tiempo consumen menos combustible, haciendo más eficiente la planta.

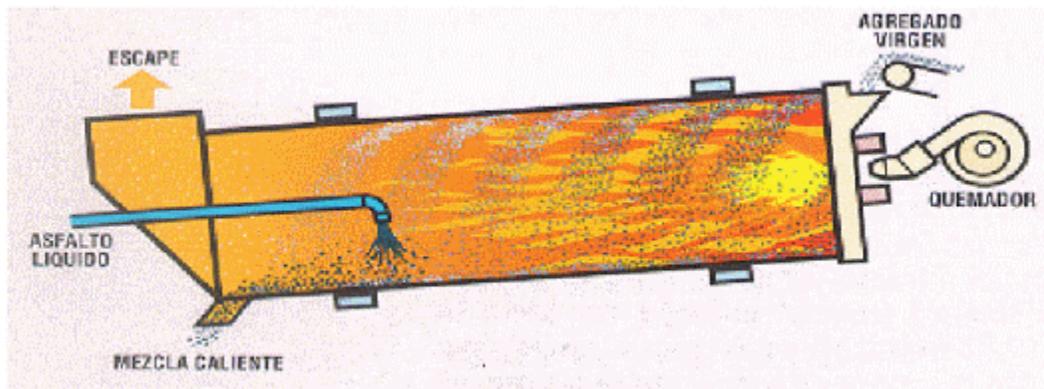
Al sobrecalentarse la mezcla se quema el asfalto y también el polvo, al quemarse el polvo se quema el filtro y es muy notorio a simple vista. Entonces, el hecho de contar con un filtro, que tiene control de la temperatura de gases que entran a él, es una medida más de evitar la falla de la mezcla por sobrecalentamiento.

Entonces, se dice que una planta de contraflujo es menos contaminante y en teoría produce una mejor mezcla.

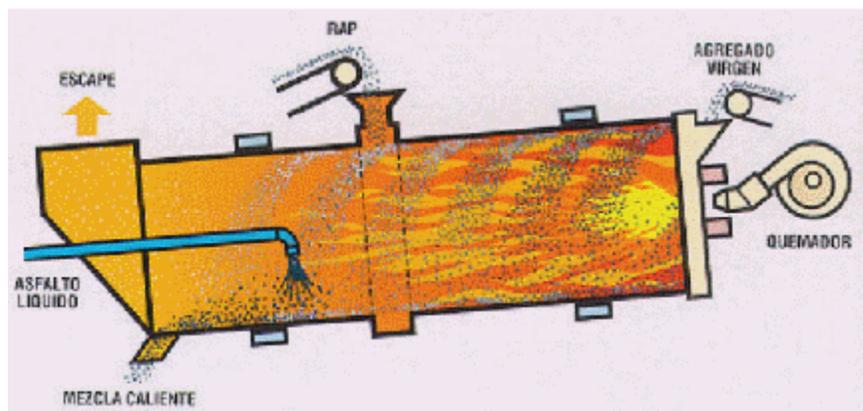
Tambor de contraflujo



Tambor de flujo paralelo



Tambor de flujo paralelo con entrada central



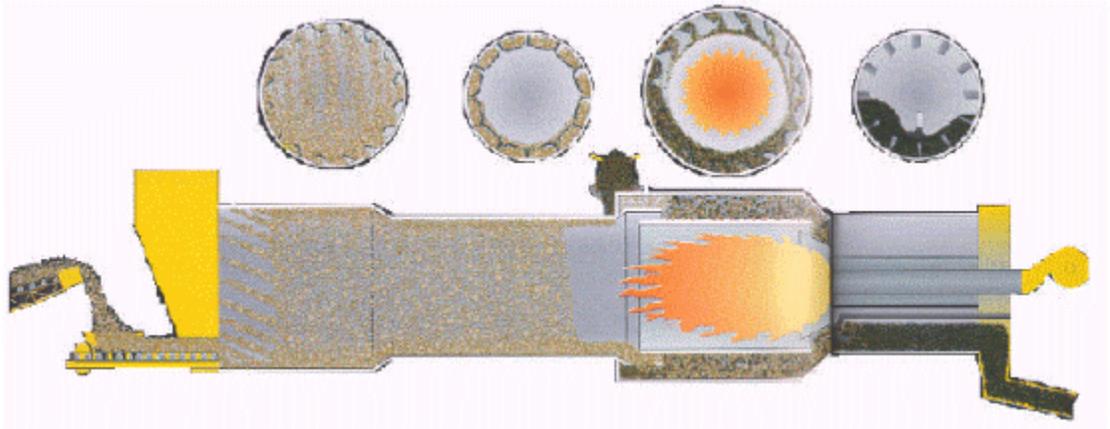
Las plantas de tambor, sin duda, han ido evolucionando desde su aparición a principios de los '70. La más moderna en nuestro país es la de triple tambor y es a la que tiende el diseño de plantas hoy en día.

El Triple Tambor está dividido en tres secciones longitudinalmente: el secador, el quemador y la cámara de mezclado. Es un tambor de contraflujo y de doble barril (o doble cámara). En la parte central existe una doble cámara en cuyo interior nace la llama y crece hacia el secador. El árido pasa por afuera de este hacia el mezclador. Los gases producidos en la mezcla de árido y asfalto (humos blancos) son succionado por un extractor ubicado en el centro desde el mezclador hacia el secador. De esta forma estos son quemados por la llama, evitando así que estos sean expulsados por la chimenea. Es decir, la función de tener doble cámara es que los áridos no ahoguen la llama y que esta pueda quemar los gases. Además, evita que los áridos entren en contacto con el asfalto a una temperatura que lo queme y degrade, ya que el árido no toca la llama en forma directa.

En caso de incorporar filler, este es incorporado directamente en el mezclador.

El Triple Tambor es perfecto para esos trabajos con un volumen alto de RAP (producto asfáltico reciclable). De hecho, es ideal para trabajos que requieren cantidades grandes de cualquier mezcla caliente. El Tambor Triple es, sin una duda, la manera más barata de hacer mezclas asfálticas. Es la que tiene el costo más bajo por tonelada hoy en el mercado. Hoy en día, en Chile, las plantas de tambor son capaces de producir entre 100 y 300 toneladas/hora.

## Triple Tambor



### 3.3.- CAUSAS DE FALLA DE LA MEZCLA EN UNA PLANTA DE TAMBOR

Se dice que una mezcla falla cuando no cumple con las especificaciones del proyecto. Esta falla se puede detectar a simple vista o mediante los ensayos rutinarios. Dentro de las causas de falla más común cabe destacar la falta de temperatura en la mezcla. Las dos razones más probables por las que podría producirse ésta es por baja potencia en los quemadores, cuya solución sería simplemente subirla, y un exceso de humedad que se puede prever con un control más frecuente en la humedad de los acopios de trabajo.

Otra causa en la falla de la mezcla es la falta de inyección de asfalto, que puede producirse por problemas en la bomba de asfalto, una cañería de inyección de asfalto tapada o por problemas en la balanza de áridos ya que según el flujo de áridos que marca el medidor es la cantidad de asfalto que se inyecta al mezclador. Estos problemas pueden evitarse chequeando periódicamente todos los componentes involucrados.

Cuando se efectúan cambios del tipo de mezcla sobre la marcha, es decir, sin parar la producción para cambiar las proporciones de los componentes, se produce inevitablemente un tramo en que la mezcla falla. Por ejemplo, al pasar de una mezcla abierta a una cerrada o de una mezcla gruesa a una fina se produce un cambio

brusco en la cantidad de asfalto inyectado y se acumula una cantidad de mezcla con proporciones incorrectas. Además, al dejar caer una mezcla gruesa sobre una fina en un mismo silo, la fina se mezclará con la gruesa y tendrá partículas de sobretamaño. La solución más obvia es no hacer cambios sobre la marcha pero esto significa un costo adicional por el hecho de parar la planta, ya que al comienzo y al término se debe botar material, y por el tiempo sin producir. La recomendación entonces, sería hacer cambios de mezcla sólo con porcentajes de asfalto y granulometría parecida y programar la producción diaria para que éstos sean los mínimos posibles.

La falta de alimentación de áridos es otra causa de falla. Esto significa que no llega la cantidad de agregado programado al mezclador. Esto puede deberse a que se ha desocupado una tolva o el árido húmedo se traba y no baja continuamente por la tolva hacia la cinta de alimentación. La mantención y limpieza continua son los factores que hay que tener en cuenta para evitar este tipo de falla.

La mezcla también falla cuando la granulometría no es la correcta y si todos los otros indicadores andan bien, puede entonces presumirse que ha variado el material natural o el árido adquirido manteniéndose el diseño. Por ello, es necesario controlar el material que llega a la planta a pesar de provenir del mismo proveedor. La granulometría no sólo debe estar dentro de la banda de trabajo, sino que debe ser homogénea dentro de ésta. Para ello, debe procurarse dosificar con una frecuencia que permita que el diseño sea un buen patrón de referencia para el control.

La mezcla, aun teniendo las proporciones de material que le corresponden según el diseño, puede fallar por estar segregada. Esta segregación del material se produce al mantener el silo, con poca mezcla ya que la altura de caída de la mezcla es mayor. Esto se evita llenando el silo manteniendo el silo lleno y luego descargar a los camiones. Este tipo de falla se produce principalmente en silos de gran tamaño que están diseñados para almacenar mezcla y no en aquellos que solo sirven de almacenamiento temporal para cargar los camiones.

La planta también puede fallar y esto lleva a una falla de la mezcla que por lo general es muy evidente y hay que desechar. Las causas de aquello son la fatiga de materiales por desgaste de piezas o falta de mantención; un error de operación o falta de energía eléctrica, gas natural o combustible.

### 3.4.-REQUISITOS TÉCNICOS PARA PLANTAS ASFÁLTICAS DE MEZCLA EN CALIENTE

Estos estándares pueden ser usados para ayudar a evaluar plantas existentes y para especificar plantas nuevas asegurando que la planta es apta para producir un producto de calidad.

Estos estándares no están dirigidos al control y operación de la planta o a la producción de mezcla.

#### 3.4.1.- Requerimientos para todas las plantas

La planta debe ser capaz de manejar simultáneamente en frío el número de fracciones de árido que exija la fórmula de trabajo adoptada. Debe ser capaz de combinar y mezclar uniformemente varios tamaños de agregados desde los acopios, elementos asfálticos reciclados si se requiere y cemento asfáltico.

#### 3.4.1.2.- Almacenamiento y circulación de Asfalto

Los estanques de almacenamiento de asfalto deben estar equipados para calentar el material en forma efectiva y mantener el material a la temperatura uniforme de empleo. Debe ser posible controlar la temperatura del asfalto en los estanques en todo momento. Se debe proveer calor indirecto mediante serpentines con vapor o aceite, electricidad o por otros medios tal que no haya llama en contacto con los estanques. En la calefacción del asfalto debe evitarse el contacto de éste con elementos metálicos a temperaturas superiores a la de almacenamiento.

Todos los elementos del sistema de alimentación de asfalto (tuberías, bombas, piezas de unión, etc.) deben estar provistos de calefactores o aislamientos

de manera de evitar pérdidas de calor y permitir su circulación a la temperatura de empleo.

El sistema de circulación del asfalto debe ser de capacidad adecuada para proveer una correcta, continua y uniforme circulación entre los estanques de almacenamiento y las unidades suministradoras durante todo el período de operación.

Deben proporcionarse los medios necesarios, ya sea de pesaje o medida para obtener la cantidad apropiada de asfalto en la mezcla.

La descarga de la tubería del camión transportador de cemento asfáltico hacia los estanques de almacenamiento deben ser sumergidos (bajo el nivel de la superficie del estanque) para prevenir descargar el asfalto caliente al aire libre a nivel del suelo.

La capacidad de los estanques de almacenamiento debe ser tal que asegure la continua operación de la planta y una temperatura uniforme en el asfalto cuando éste es incorporado al agregado.

Deben haber por los menos dos estanques de almacenamiento de asfalto de manera de no mezclar cementos asfálticos de distintas partidas.

Debe ser posible medir el volumen de asfalto de los estanques en cualquier momento.

El sistema de circulación debe estar provisto de dispositivos para tomar muestras y para comprobar la calibración del dosificador.

#### 3.4.1.3.- Alimentación de agregados fríos

En caso de usarse polvo mineral de aporte, el almacenamiento y dosificación de éste, debe ser independiente de los que correspondan al resto de los áridos, y estar protegidos de la humedad.

La planta debe estar provista con los medios mecánicos para alimentar uniformemente los agregados al secador de manera que se pueda asegurar una producción y temperatura uniforme.

Las tolvas para áridos en frío deberán tener paredes resistentes y bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe uniformemente, y cuya separación sea efectiva para evitar intercontaminaciones.

El número mínimo de tolvas será función del número de fracciones de árido que exija la estudio de dosificación usado. En todo caso, se recomienda un mínimo de cuatro tolvas.

Cuando deban mezclarse agregados de dos o más tolvas en el alimentador en frío debe proveerse un método sincronizado para alcanzar los requerimientos de granulometría especificada.

Si se quiere reciclar mezcla asfáltica, la planta debe estar equipada con medios mecánicos adicionales para incorporar la mezcla asfáltica reciclada dentro del tambor mezclador.

#### Secador

La planta debe estar provista de un secador que sea capaz de secar y calentar los agregados a la humedad y temperatura requerida por la especificación de mezclas.

#### Silos

Si la planta cuenta con silos de almacenamiento temporal de mezcla en caliente, su capacidad deberá garantizar el flujo normal de los elementos de transporte.

#### Medición de temperaturas

Se debe disponer de termómetros y registrar las temperaturas a la salida del mezclador.

Cuando sea aplicable, se deben medir y registrar las temperaturas a la salida del secador.

Se debe disponer de termómetros y registrar las temperaturas en los silos de almacenamiento temporal, o bien, fijar las horas de permanencia máxima en él para que la temperatura de la mezcla no disminuya en más de 5 °C.

#### Control de emisiones

Debe proporcionarse un sistema de control de polvo. El sistema debe ser hecho para desechar el material recolectado o retornarlo todo o en parte, uniformemente a la mezcla.

Otras emisiones, tales como humo pero exceptuando vapor de agua, deben ser controladas para estar conforme con la legislación vigente.

#### Requerimientos de seguridad

Deben proveerse, donde corresponda, escaleras adecuadas y seguras hacia las distintas unidades de la planta. Deben ser ubicadas vías de circulación con barandas de protección donde se requiera acceso en las unidades de la planta.

Todos los engranajes, poleas, cadenas, ruedas dentadas, y otras piezas con movimientos riesgosos deben estar completamente protegidos. Se debe mantener un paso accesible en todo momento en y alrededor del sitio de carga de los camiones. Este espacio debe mantenerse libre de goteo de mezcla desde el silo o los camiones.

Una barrera o plataforma debe ser ubicada en el sitio de carga de los camiones para permitir la fácil y segura inspección de la mezcla cuando esta es despachada en los camiones.

3.5.- Requerimientos para plantas que controlan la granulometría de los agregados calientes secos (dosificación en caliente)

#### Harneros

Las plantas deben estar equipadas con harneros o cribas ubicadas entre el secador y las tolvas de agregado caliente y deben tener una adecuada capacidad y rango de tamaños para separar el agregado caliente dentro de los tamaños requeridos y permitir que éstos sean recombinados conforme a la granulometría especificados.

#### Tolvas de agregado caliente

Las tolvas de almacenamiento caliente deben ser de suficiente capacidad acorde con su producción y asegurar uniformidad y operación continua. Las tolvas deben ser divididas en un número especificado de compartimentos para asegurar la separación y adecuado almacenamiento de las distintas fracciones de agregado.

Estas tolvas deben tener paredes resistentes y de altura suficiente para evitar intercontaminaciones, con un rebosadero para evitar que un exceso de contenido se vierta en las contiguas o afecte al funcionamiento del sistema de dosificación.

Cada compartimento debe estar provisto con una salida para el flujo excedente de tal tamaño.

Cada tolva debe estar equipada con un dispositivo de control para indicar la posición del agregado en el cuarto inferior de la tolva, o bien, debe proveerse un sistema para asegurar que las tolvas estén siempre llenas entre el cincuenta y el cien por ciento de su capacidad.

Debe haber un dispositivo de alarma que avise cuando el nivel de una tolva baje del que proporcione el caudal calibrado. Debe proveerse de un sistema automático de cierre que opere cuando cualquier tolva de agregados se vacíe. Deben disponerse los medios para obtener muestras de agregados de cada tolva.

### 3.6.- Requerimientos para plantas que controlan la granulometría del agregado frío y húmedo (dosificación en frío)

Se deben proveer mecanismos, tales como harneros, para rechazar el árido de sobretamaño. Las tolvas de alimentación en frío para almacenar agregados deben estar equipadas con un dispositivo de control para indicar la posición del agregado en el cuarto inferior de la tolva, o bien, debe proveerse un sistema para asegurar que las tolvas estén siempre llenas entre el cincuenta y el cien por ciento de su capacidad.

Debe proveerse de un sistema automático de cierre que opere cuando cualquier tolva de agregados se vacíe o el flujo desde cualquier compuerta de la tolva este restringido o impedido.

Deben proveerse medios para obtener muestras de todo el flujo de agregados de cada tolva de alimentación en frío y desde cinta transportadora.

Se deben tener los medios para tener en cuenta la humedad de los áridos y poder corregir la dosificación en función de ella.

### 3.7.- Requerimientos para plantas Batch (discontinua de dosificación en caliente).

Deben estar provistas de dosificadores independientes: al menos uno para los áridos calientes, uno para el polvo mineral y uno para el asfalto.

Se debe garantizar un flujo uniforme a través del alimentador del secador. La alimentación errática de material proveniente de las tolvas frías puede causar que algunas de las tolvas calientes se llenen demasiado mientras otras trabajen con muy poco material. Las variaciones grandes en la cantidad de un determinado agregado, en la alimentación en frío, pueden causar un cambio considerable en la temperatura de agregados que salen del secador. Una alimentación en frío excesiva puede

sobrecargar el secador o las cribas. Estos problemas contribuyen a la producción de mezcla no uniforme.

3.8.- Requerimientos para plantas de mezcla continua (continua de dosificación en caliente)

El sistema dosificador del asfalto debe poder calibrarse a la temperatura y presión de trabajo. Debe proveerse los medios adecuados para lograr una buena interconexión o un control mecánico entre el flujo de agregados y polvo mineral, a través de las compuertas y el flujo de material bituminoso a través del medidor u otro mecanismo suministrador del asfalto.

La planta debe incluir un mezclador continuo y debe ser capaz de producir una mezcla uniforme dentro de tolerancias permisibles de mezclas de trabajo.

3.9.- Requerimientos para plantas de tambor (continua de dosificación en frío).

Se debe garantizar la distribución homogénea del asfalto y que ésta se realice de forma que no exista riesgo de contacto con la llama ni de someter al asfalto a temperaturas inadecuadas.

La totalidad de la alimentación del agregado frío debe ser pesada continuamente por una balanza en la cinta transportadora hacia el tambor.

Se deben tomar las precauciones necesarias para introducir el contenido de humedad de los áridos de las tolvas en frío dentro del sistema de pesaje en la cinta y corregir el peso del agregado húmedo a peso de agregado seco.

Cuando se especifique polvo mineral de aporte, una tolva y un alimentador aparte deben ser provistos con sus comandos interconectados con los alimentadores de agregados.

A través de un sistema de medición apropiado debe asegurarse una adecuada interconexión entre el peso seco del flujo de agregado y el flujo de asfalto. La

interconexión debe ser capaz de ajustar el flujo de material bituminoso para compensar cualquier variación del peso del flujo de agregado.

### 3.10.- IMPLEMENTACIÓN BÁSICA PARA UN LABORATORIO QUE CONTROLA MEZCLA ASFÁLTICA

Equipos	Cantidad
<b>JUEGO DE TAMICES</b>	
1"	1
3/4"	1
1/2"	1
3/8"	1
1/4"	1
Nº 4	1
Nº 8	1
Nº 16	1
Nº 30	1
Nº 50	1
Nº 100	1
Nº 200	2
Tapa y Fondo	1
Balanza 20 Kg	1
Baldes 20 lt	3
Bandejas Riego 30x30 o similar	1
Baño María 8 lt	1
Bidones 20 lt	2
Bidones para gas	2
Set Bomba Vacío	1

Brocas Testiguera	3
Calibre I.L.	1
Canastillo	1
Cocina industrial 2 platos	1
Cocinilla 2 Platos	1
Cono de Absorción	1
Collarín	1
Crisol	4
Densímetro Troxler Múltiple	1
Desmoldador de Briquetas Extractor Eléctrico	1
Horno capacidad 150lt	1
Set índice de fricción	1
Jarros Graduados 1 lt	2
Lavaplatos Asbesto	1
Lector Nuclear	1
Martillo Marshall	1
Matraz Aforado	2
Mechero con Regulador A.P.	2
Set medidas volum. 1,2,3 y 5 lt	1
Moldes briquetas	6
Paila Galv. C/Asas diam 12"	6
Paila Galv. C/Asas diam 18"	8
Pie de Metro	1
Poruñas de aluminio 1 Kg	3
Prensa Marshall	1
Probeta vidrio 100 cc	1
Probeta vidrio 1000 cc	1

Probeta plástica 100 cc (PPP)	2
Probeta plástica 1000 cc (PPP)	2
Tenaza Crisol	1
Termo Ventilador	1
Termómetros Bimetálicos	2
Termómetro Digital	1
Termómetro Máx-Mín	1
Termómetro Químico 0-120°C	1
Testiguera	1
Trípode Porta Crisol	1
Global Ferretería	1

### 3.11.- MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO

Mezcla en frío: Esta es una mezcla de agregado mineral no calentado y emulsión asfáltica o asfaltos cortados.

Las mezclas en Planta son producidas en plantas estacionarias o betoneras que permiten un ajustado control del proceso productivo.

#### 3.11.1.- Ventajas de las Mezclas Asfálticas en frío

Las mezclas asfálticas en frío tienen varias ventajas contándose entre ellas las siguientes:

**Versatilidad:** Dada la variedad de tipos y grados de emulsiones y asfaltos cortados disponibles se puede trabajar con una gran variedad de requisitos para agregados y condiciones de clima.

**Economía:** altas tasas de producción de mezcla se obtienen con una baja inversión en equipos comparando con la mezcla un caliente requiere de equipos más caros

**Baja polución ambiental:** Por el hecho de no requerir de un secador de agregados pétreos no hay omisión de humo ni polvo.

Además en el caso de usar emulsiones no se producen vapores ni olores indeseables.

### 3.11.2.- Limitaciones de mezclas asfálticas en frío

#### Clima

La construcción con mezcla en frío no deberá hacerse cuando la temperatura atmosférica esté bajo 10°C, o en general cuando se anticipe mal tiempo.

#### Humedad superficial

En el caso de que se trabaje con asfaltos cortados el contenido de humedad superficial será siempre menos del 1,5% y con las emulsiones se podrá trabajar con una humedad mayor pero siempre menor que 3% ya que un exceso de humedad causa problemas en la etapa de mezclado, quiebre y compactación.

#### Aplicación

Las mezclas asfálticas en frío podrán usarse en capas de base, subbase o superficie si la estructura del pavimento ha sido diseñada en forma adecuada.

Como carpeta de rodado, la mezcla en frío es adecuada para tráfico medio y ligero. Para bases y subbases es aceptable para todo tipo de tráfico.

#### Pavimento mezcla en Planta en frío de Graduación Abierta

Este tipo de pavimento consiste en una mezcla de agregado esencialmente grueso y asfaltos líquidos, colocado en espesores de 5 a 7.5 centímetros (compactado).

En el caso de requerir una superficie de rodado más afinada se podrá colocar un sello asfáltico con agregado fino.

## MATERIALES

### Agregado mineral

El agregado será un chancado grueso que cumpla con las condiciones de dureza y estabilidad señaladas.

Tamiz Abertura cuadrada	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	Nº 4	Nº 8
Mezcla	100	90-100	40 – 75	15 – 35	0 – 15	0 – 5	-
sellos	-	-	100	90-100	40 -70	0 - 15	0 - 5

La graduación del agregado de mezcla y para el sello podrán ser las indicadas en la tabla.

Dureza no más de 40% pérdida en ensaye por Método de Los Angeles.

La Humedad no deberá exceder el 1.5% al usar Asfaltos cortados y hasta 3% con emulsiones.

Se entiende como humedad superficial y la norma no acepta más de 1.5% para ambos casos.

### Asfalto

Se podrán usar tanto emulsiones como asfaltos cortados. Emulsiones. Para granulometrías abiertas se recomiendan:

Cationicas

CMS – 2 ; CMS – 2h

Anionicas

MS – 2 ; HFMS – 2; HFMS – 2h

## Asfaltos cortados

RC – 2	zona fría, agregado no absorbente
RC – 3	zona fría, agregado no absorbente
MC – 3	zona fría, agregado absorbente
MC – 4	zona moderada, agregado absorbente
RC – 5	zona calurosa, agregado no absorbente
MC – 5	zona calurosa – agregado absorbente

Las proporciones de asfalto en la mezcla serán de 4 al 10% en peso determinándose el porcentaje óptimo en laboratorio o mediante las fórmulas de aproximación dadas más adelante.

## Sello

De ser requerido se colocará una capa sello una vez que el solvente se haya evaporado (15 a 20 días después) o una semana después en el caso de las emulsiones en condiciones de clima normales.

Las cantidades de material a aplicar estarán dentro de los rangos de asfalto 0,8 a 1,2 lt/m<sup>2</sup> y el agregado de 7 a 9 lt/m<sup>2</sup> (tamaño máximo ½")

## 3.11.3.- Pavimentos Mezcla en Planta (en frío de graduación cerrada)

Esto consiste en una mezcla de agregados de graduación cerrada y asfaltos líquidos o emulsiones, mezclados en planta colocados en frío.

## Materiales

## Agregados pétreos

Será roca o grava chancada que cumpla con las mismas exigencias de dureza, estabilidad y humedad que el caso anterior.

## Granulometrías

El agregado al entrar al mezclador deberá estar dentro de una de las siguientes bandas granulométricas.

Grado 1	tamiz	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Grado 5
100	2"				
80-100	1 ½"	100			
65-85	1"	90-100	100		
55-75	¾"	80-90	90-100	100	
45-65	½"	60-80	70-85	90-100	100
30-45	N° 4	35-60	40-60	60-80	85-100
20-35	N° 10	25-40	35-50	40-55	45-60
10-25	N° 40	15-25	15-25	15-30	15-35
5-15	N° 80	5-15	6-16	8-18	10-20
0-4	N° 200	1-4	2-6	3-8	4-10

## Asfalto

Generalmente se podrá trabajar con los siguientes materiales asfálticos:

Emulsiones:	SS – 3K o SS – 3Kh
Asfaltos cortados	MC – 3      mezclado en tiempo normal
	RC – 2      mezclado en tiempo frío
	RC – 3      mezclado en tiempo caluroso

Las proporciones de material asfáltico líquido serán de 6 al 10%.

## CAPITULO IV

### 4.- LA COMPACTACION

La compactación es un proceso que consiste en comprimir un volumen dado, de mezcla asfáltica en caliente, en uno más pequeño. Esto se consigue al comprimir las partículas de agregado, revestidas de asfalto, eliminando así la mayoría de los vacíos (espacios) en la mezcla y aumentando la densidad de la misma. Se considera que la compactación ha sido exitosa cuando la carpeta terminada tiene contenidos óptimos de vacíos y de densidad.

La necesidad de compactar un pavimento hasta lograr su densidad óptima puede entenderse mejor si se advierten los efectos del agua, el aire, y el tránsito en una mezcla subcompactada. Los vacíos en una mezcla subcompactada tienden a estar interconectados y permiten la penetración de aire y agua a través del pavimento. El aire y el agua contienen oxígeno, el cual oxida el ligante asfáltico en la mezcla, causando que esta se vuelva frágil. En consecuencia, el pavimento no podrá resistir las deformaciones repetidas causadas por el tránsito, lo cual conducirá a su falla. Por otro lado, la presencia interna de agua, a temperaturas bajo cero, puede causar una falla prematura en el pavimento como resultado de la expansión del agua congelada.

Un pavimento que no ha sido compactado correctamente durante la construcción presentará huellas o surcos a causa de la canalización del tránsito. Además, si no se dejan suficientes vacíos en la mezcla compactada, hay peligro que el pavimento presente afloramiento y se vuelva inestable, y cuando el contenido de vacíos es demasiado alto, el pavimento tiende a presentar desmoronamiento y desintegración. Entonces el contenido óptimo de vacíos en un pavimento recién construido, es de 8 por ciento o menos para mezclas densamente gradadas. En este nivel, los vacíos no están, generalmente, interconectados.

#### 4.1.- Factores que afectan la Compactación

Agregado: A medida que aumenta el porcentaje de agregados gruesos en la mezcla, la trabajabilidad disminuye, y por consiguiente se requiere un mayor esfuerzo de compactación para obtener la densidad de referencia. Una mezcla con demasiada arena, especialmente en los tamaños medianos, puede resultar en una mezcla con alta trabajabilidad pero poca estabilidad, estas mezclas son fácilmente sobre esforzadas por los rodillos, como también por el exceso de pasadas del rodillo. La adición de relleno mineral ayudara a compensar las propiedades desfavorables de las mezclas que contienen demasiada arena, por otro lado, si la mezcla contiene demasiados finos, se volverá gomosa y será muy difícil de compactar.

4.1.1.- Asfalto: El asfalto trabaja como un lubricante durante la compactación. A medida que la mezcla se enfría, el asfalto pierde su fluidez (se vuelve mas viscoso). Es así como a temperaturas por debajo de 85°C, el asfalto, en combinación con los finos de la mezcla, comienza a ligar firmemente las partículas de agregado. En consecuencia, la compactación de la mezcla se hace extremadamente difícil cuando se ha enfriado por debajo de 85°C.

4.1.2.- Temperatura de Mezclado: La temperatura a la cual una mezcla asfáltica es producida afecta la facilidad de la compactación y el tiempo que le toma a la mezcla para enfriarse hasta 85°C - la temperatura mínima a la cual todavía puede haber densificación. Hasta cierto nivel, entre más caliente este la mezcla, mas fluido será el asfalto y menos resistente será la mezcla bajo la compactación. El limite superior para la temperatura de la mezcla es de aproximadamente 163 °C. Las temperaturas mas altas pueden dañar el asfalto. La mejor temperatura para empezar a compactar la mezcla, dentro del margen de temperaturas de 163 a 85°C, es la máxima temperatura a la cual la mezcla puede resistir el rodillo sin desplazarse horizontalmente.

4.1.3.- Efectos Ambientales: La velocidad a la cual se enfría la mezcla afecta la duración de tiempo durante el cual se puede y se debe, lograr la densidad deseada. La temperatura ambiental, la humedad, el viento, y la temperatura de la superficie debajo de la mezcla afectan la velocidad de enfriamiento. Las temperaturas ambientales frías, la humedad alta, los vientos fuertes, y las superficies frías acortan el tiempo durante el cual se debe efectuar la compactación. Además, estos factores pueden hacer mas difícil la compactación.

4.1.4.- Espesor de Capa: En general, es más fácil lograr la densidad de referencia con capas gruesas de concreto asfáltico que con capas delgadas. Esto se debe a que entre mas gruesa sea la carpeta, mas tiempo demora en enfriarse, y por lo tanto, hay mas tiempo para lograr una compactación adecuada. Este hecho puede usarse ventajosamente para colocar capas de mezclas con alta estabilidad que sean difíciles de compactar, o cuando es necesario pavimentar bajo condiciones ambientales que causen enfriamiento rápido en capas delgadas. Por otro lado, un aumento en el espesor de la capa permite que las temperaturas de la mezcla sean mas bajas debido a la disminución en la velocidad de enfriamiento.

#### 4.2.- Recomendaciones para colocación y compactación.

##### 4.2.1.- Restricciones climáticas.

El material bituminoso en planta no deberá ser colocado en el estado del tiempo impida el manejo, o el acabado adecuado de las mezclas. Es decir la superficie sobre la cual se colocará debe estar limpia, seca y no congelada.

Se recomienda aplicar un riego imprimante para el caso de que las superficies sean absorbentes o a su vez un riego de liga en el caso de que se coloque sobre un pavimento antiguo.

La temperatura adecuada no debe ser inferior a los 5° C y bajo 10° C se deberán tomar las precauciones necesarias para controlar la temperatura adecuada de la colocación de la mezcla.

Las mezclas en caliente son las de mayor estabilidad de todas las mezclas asfálticas y consisten en mezclar el agregado pétreo y el cemento asfáltico a alta temperatura (135 a 165°C).

### Mezclado

Una vez que las cantidades de los agregados estén determinados conjunto con la cantidad de material bituminoso se deberán introducir en el mezclador hasta que el material se haya recubierto completamente por una película de asfalto.

Una vez obtenido el material asfáltico este se deberá transportar, colocar, y compactar.

El transporte se debe hacer en vehículos que estén equipados para proteger la mezcla de la contaminación de polvo o humedad y de la temperatura ya que tiene que llegar desde la planta al lugar de colocación con una determinada temperatura.

La colocación puede hacer con una motoniveladora así como con una extendedora, lo que es más conveniente ya que con esta maquinaria uno adquiere un espesor uniforme así como un buen acabado superficial.

La pavimentadora es una maquina que extiende la mezcla de pavimento, la mayoría de éstas son autopropulsadas y tienen dos unidades principales la unidad tractora y la unidad enrasadora. La unidad tractora entrega la potencia necesaria para mover la oruga o los neumáticos según sea el caso, esta unidad incluye la tolva de entrada, cintas transportadoras, compuertas de control de flujo, tornillo de esparcimiento y controles para el operador. La unidad enrasadora se encuentra sobre la unidad tractora, consiste en una placa enrasadora, barras vibradoras, controladores de espesor, de bombeo y calentadores de placa.

El espesor de las capas no debe exceder de los 7,5 centímetros compactados. Cuando se construya un pavimento en dos o más capas estas tienen que ir traslapadas en aproximadamente 15 centímetros como mínimo sin embargo la junta en la capa superior deberá coincidir con el eje del camino y las juntas longitudinales no deberán coincidir.



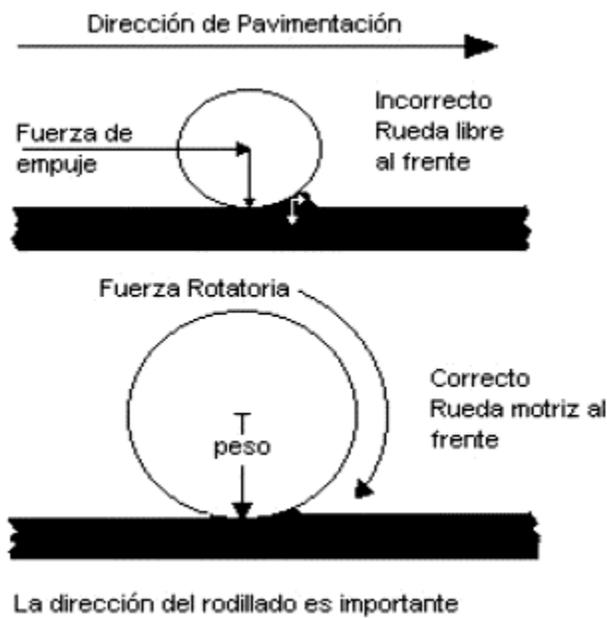
Una vez que la mezcla haya sido tendida, enrasada y alisada esta debe ser compactada en forma uniforme por rodillos compactadores.

La densidad de la mezcla compactada no debe ser inferior al 98% de la densidad obtenida en el laboratorio por el método Marshall (que es la mas empleada en el ámbito nacional) para la mezcla empleada. La cantidad de rodillos, peso y tipo que se empleen deberán ser los suficientes para obtener una compactación adecuada y requerida.

La superficie deberá estar seca o ligeramente húmeda. La temperatura de la mezcla no deberá ser inferior a 110°C al comienzo y 85°C al término del proceso.

Salvo casos especiales, la compactación deberá comenzar por los bordes en sentido longitudinal traslapando en cada recorrido una mitad del ancho del rodillo y avanzando gradualmente hacia la parte mas alta del camino, en las curvas con peralte se deberá comenzar por la parte más baja.

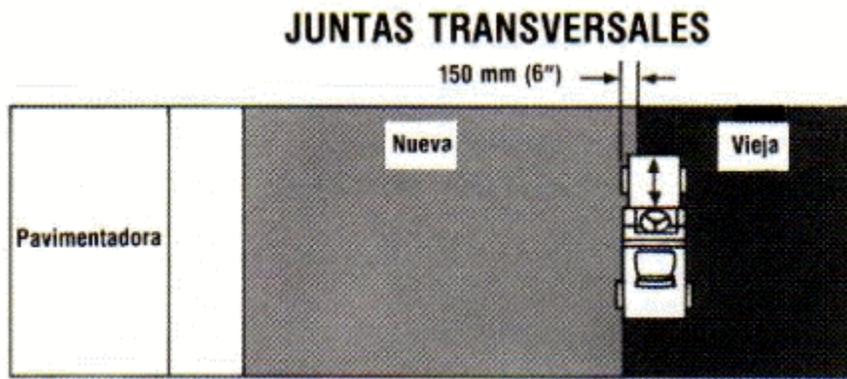
La compactación se comenzara con rodillos neumáticos para dar el alisado final con el de acero, y estos deberán desplazarse a velocidad lenta y uniforme, con la rueda motriz mas cerca de la terminadora.



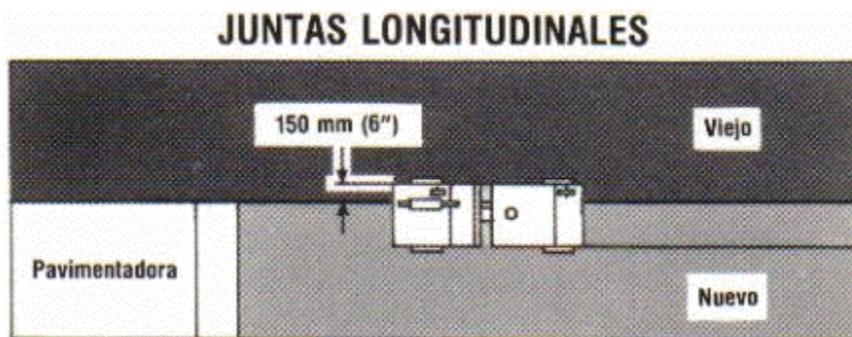
Los cambios de velocidad o dirección se deberán hacer sobre las carpetas terminadas. Por lo general se adhiere la mezcla en los rodillos para evitar esto se deben mantener húmedos con agua o aceite.



Juntas transversales: Las juntas deben comprobarse con regla para asegurar su regularidad y alineación. En la junta debe emplearse un exceso de material, compactándola, descansando sobre la superficie previamente terminada y apoyando unos 15 cm de una rueda sobre la mezcla recién extendida.



**Juntas Longitudinales:** Las juntas longitudinales deben compactarse inmediatamente después de la extensión del material. La primera franja extendida debe tener el perfil longitudinal y transversal necesarios y tener su borde cortado verticalmente.



#### 4.3.- Compactación para pavimentos de mezclas en caliente

Una vez esparcidas, enrasadas y alisadas las irregularidades de la superficie, la mezcla deberá compactarse hasta que alcance una densidad promedio no inferior al 97% de aquella obtenida en la dosificación por el Método LNV 24.

Para las mezclas asfálticas de graduación abierta, la densidad será aquella que se determine en una cancha de prueba de dimensiones mínimas de 100 m de largo por 3,5 m de ancho. Esta densidad será la que se logre con un mínimo de tres pasadas de rodillo liso y la compactación no deberá prolongarse más allá de que se inicie la destrucción del agregado superficial.

La cantidad, peso y tipo de rodillos que se empleen deberá ser el adecuado para alcanzar la compactación requerida dentro del lapso de tiempo durante el cual la mezcla es trabajable.

Salvo que la Inspección Fiscal ordene otra cosa, la compactación deberá comenzar por los bordes más bajos para proseguir longitudinalmente en sentido paralelo con el eje del camino, traslapando cada pasada en la mitad del ancho del rodillo de manera de avanzar gradualmente hacia la parte más alta del perfil transversal. Cuando se pavimente una pista adyacente a otra colocada previamente, la junta longitudinal deberá compactarse en primer lugar, para enseguida continuar con el proceso de compactación antes descrito. En las curvas con peralte, la compactación deberá comenzar por la parte baja, y progresar hacia la parte alta con pasadas longitudinales paralelas al eje.

Los rodillos deberán desplazarse lenta y uniformemente con la rueda motriz hacia el lado de la terminadora. La compactación deberá continuar hasta eliminar toda marca de rodillo y alcanzar la densidad especificada. Las maniobras de cambios de velocidad o de dirección de los rodillos no deberán realizarse sobre la capa que se está compactando.

Para evitar la adherencia del concreto asfáltico a los rodillos, las ruedas deberán mantenerse húmedas o deberán tratarse con aceites lubricantes quemados u otro material aprobado.

En las superficies cercanas a aceras, cabezales, muros y otros lugares no accesibles a los rodillos, la compactación se deberá realizar por medio de pisones manuales, alisadores o pisones mecánicos, previamente calentados.

El concreto asfáltico que quede suelto, esté frío, contaminado con polvo o tierra o que en alguna forma se presente defectuoso, deberá retirarse y sustituirse por mezcla nueva caliente, la que deberá compactarse ajustándola al área circundante.

Deberá eliminarse toda mezcla colocada en exceso y agregarse en los lugares donde falte.

Durante la colocación y compactación de la mezcla, se deberá verificar el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- El clima deberá ajustarse a los requisitos estipulados en el Acápite 5.408.303(1);
- La superficie a cubrir deberá estar limpia, seca y libre de materiales extraños;
- La compactación deberá realizarse sólo cuando la temperatura de la mezcla está comprendida entre 110°C y 140°C, salvo cuando se deban compactar capas de espesores inferiores a 5 cm o mezclas de granulometrías abiertas, en cuyo caso se podrán compactar a temperaturas menores que 110°C;
- La mezcla deberá alcanzar el nivel de compactación especificado, control que hará el Contratista mediante densímetro nuclear. No se permitirá la extracción de testigos excepto los de recepción. Sin embargo, la Inspección Fiscal podrá autorizar al Contratista extraer no más de cinco testigos por dosificación, para calibrar el equipo nuclear; y
- La superficie terminada no deberá presentar segregación de material (nidos), fisuras, grietas, ahuellamientos, deformaciones, exudaciones ni otros defectos.

#### 4.4.- MAQUINARIAS USADAS

##### 4.4.1.- PAVIMENTADORA O FINISHER

La pavimentadora es una maquina que extiende la mezcla de pavimento, la mayoría de éstas son autopropulsadas y tienen dos unidades principales la unidad tractora y la unidad enrasadora. La unidad tractora entrega la potencia necesaria para mover la oruga o los neumáticos según sea el caso, esta unidad incluye la tolva de entrada, cintas transportadoras, compuertas de control de flujo, tornillo de

esparcimiento y controles para el operador. La unidad enrasadora se encuentra sobre la unidad tractora, consiste en una placa enrasadora, barras vibradoras, controladores de espesor, de bombeo y calentadores de placa.



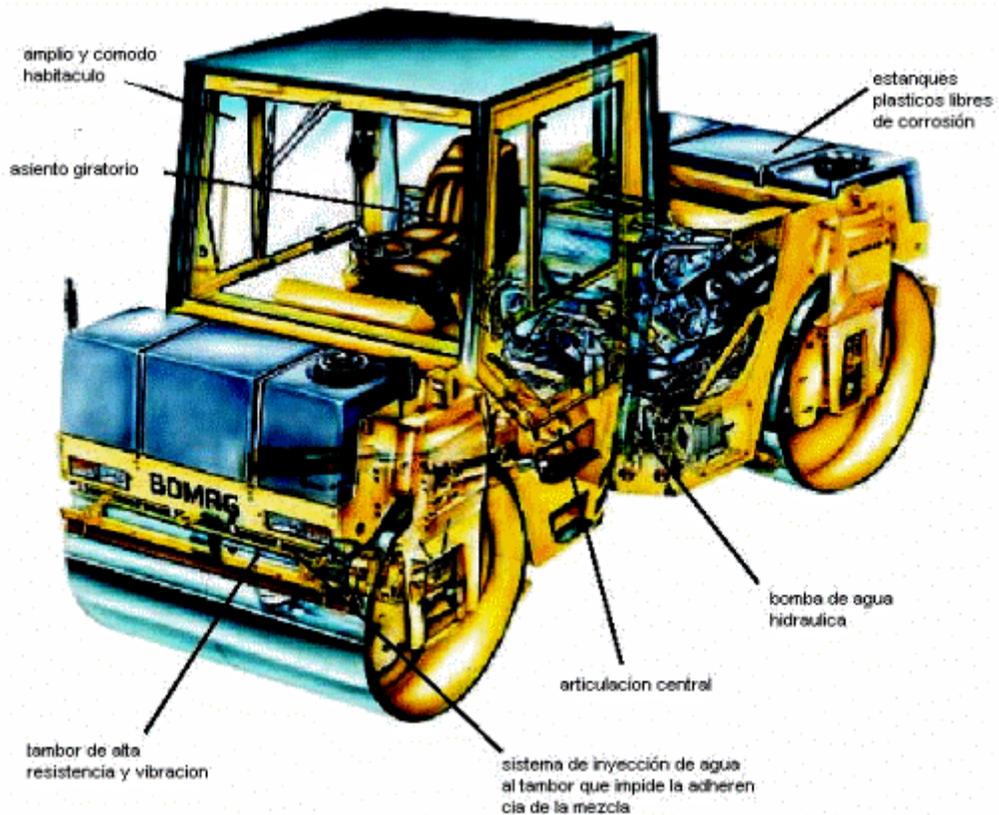
#### 4.4.2.- RODILLO VIBRATORIO O TANDEM

Tienen ruedas o rodillos de acero, generalmente montados sobre dos ejes tándem. Típicamente, estas compactadoras varían en peso desde 3 hasta 14 toneladas, y a veces mas. Para la construcción de calles, carreteras y pavimentos de tráfico denso se requiere como mínimo un peso bruto de 10 toneladas. Este tipo de compactadores puede usarse para la primera pasada, la compactación intermedia, y la compactación final. Para estas ultimas pasadas se requiere un peso bruto mínimo de 8 a 10 toneladas.

#### RODILLO TANDEM ARTICULADO



## CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE UN RODILLO LISO VIBRATORIO



### 4.4.3. - RODILLO NEUMATICO

Tienen ruedas de caucho en vez de ruedas o rodillos de acero. Generalmente poseen dos ejes tándem, con 3 o 4 ruedas en el eje delantero, y 4 o 5 ruedas en el eje trasero. Las ruedas se mueven independientemente hacia arriba y hacia abajo. Estas compactadoras pueden usar balasto para ajustar el peso bruto total. Este balasto, dependiendo del tamaño y el tipo, puede variar entre 10 y 35 toneladas. Sin embargo, mas importante que el peso bruto es el peso de cada rueda, el cual debe variar entre 1350 y 1600 Kg. si la compactadora va a ser usada para la primera pasada o para la compactación intermedia. Durante la compactación las ruedas deben tener rodaduras lisas y deben estar infladas con la misma presión, permitiendo una variación máxima de 5 psi, para que puedan aplicar una presión uniforme durante la compactación.



#### 4.5.- CONTROLES

Una vez terminada la colocación de la mezcla se procede al control de las siguientes características:

- » Densidad
- » Espesor
- » Contenido de asfalto
- » Lisura

##### 4.5.1.- Requisitos de Aprobación y Verificación del Pavimento

- Textura Superficial: Los defectos en la textura superficial pueden ser causados por errores en el mezclado, en el manejo, en la pavimentación o en la compactación. Una mezcla defectuosa por causa de un mezclado o una colocación inadecuada, deberá ser removida y reemplazada antes de la compactación. Los defectos que aparezcan durante la compactación y que no puedan ser corregidos con pasadas adicionales, deberán ser reemplazados

con mezcla caliente fresca antes de que la temperatura de la carpeta que esta alrededor baje por debajo de los 85°C. Se deberá tener cuidado, en toda área reparada, de asegurar que se mantenga la rasante correcta y que la tolerancia de la superficie cumpla con las especificaciones.

- Tolerancia de la Superficie: Las variaciones en la lisura de la carpeta no deberán exceder 6 mm bajo una regla recta de 3 metros colocada perpendicularmente a la línea central, y 3 mm cuando esta sea colocada paralelamente a la línea central. En algunos casos se usa una regla recta con rodamientos, la cual mide y registra, sobre un gráfico continuo, variaciones de la superficie. Las variaciones registradas son luego sumadas y reportadas como aspereza de superficie en milímetros por kilómetro.
- Densidad: La densidad del pavimento se considera aceptable, o no, cuando se compara con la densidad de referencia establecida en el laboratorio usando una muestra de campo. La densidad del pavimento puede variar en un porcentaje promedio, establecido por las especificaciones, respecto a la densidad de referencia. Existen tres métodos básicos para determinar la densidad de referencia, estos son:
- Porcentaje de la Densidad de Laboratorio: Este método se aplica, con frecuencia, a los procedimientos Marshall de compactación en aquellas obras grandes donde se dispone de laboratorios de campo. Para cada lote o unidad de mezcla (usualmente la producción de un día) se determina una densidad de referencia tomando la densidad promedio de cuatro o mas probetas de laboratorio, preparadas con mezcla proveniente de los camiones que están entregando en el lugar de la obra. Las probetas son compactadas en el aparato Marshall de acuerdo a la norma AASHTO T 245, con dos excepciones: La temperatura de la mezcla se deberá aproximar la temperatura del asfaltador sin permitir un recalentamiento y el número de golpes de

compactación (35, 50 o 75) deberá ser igual al que se utilizó en el diseño de la mezcla. La ventaja de este procedimiento es que las densidades de referencia obtenidas serán bastante representativas de la producción real diaria de mezcla, y compensarán las ligeras variaciones que ocurren en la mezcla de un día para otro.

- Porcentaje de la Densidad Máxima Teórica: La densidad de referencia se determina, en este método, calculando cual sería el peso unitario de mezcla si esta se compacta hasta un punto donde no tenga vacíos. Esta densidad se determina usando la norma AASHTO T 209.
  
- Densidad de la Sección de Prueba (Tramo de Control): La densidad de referencia se determina a partir de un tramo de control de pavimento, construida al comienzo de cada capa que se va a colocar. El tramo de control es parte de la obra de pavimentación. Este tramo debe tener por lo menos 150 metros de longitud y estar construida con el mismo ancho y espesor que el resto de la capa que representa. El contratista coloca y compacta el tramo de control con el equipo, el patrón de compactación y la temperatura que propone usar en la obra. La compactación comienza tan pronto como sea posible, después de que la mezcla se ha colocado, y continúa hasta que no se obtenga un aumento apreciable de densidad y/o hasta que la mezcla se enfríe a una temperatura de 85°C. La densidad de referencia se determina al promediar los resultados de un número específico de pruebas de densidad, tomadas de lugares aleatorios dentro del tramo de control. Si la densidad de referencia del tramo de control esta por debajo del 92 % de la densidad máxima teórica o 96% de la densidad de laboratorio, para la misma mezcla, entonces la densificación se considera inadecuada. (Estos limites son

recomendados por el Instituto del Asfalto). En este caso deberá construirse un tramo nuevo de control, incorporando los cambios necesarios en la temperatura de compactación, el equipo , y/o los procedimientos de compactación.

#### 4.6.- Causas y efectos de una mezcla no adecuada

##### 4.6.1.- Causas

La mala trabajabilidad es uno de las mayores preocupaciones a la hora de trabajar con el asfalto, a continuación detallare las causas y los efectos que ocurren por la mala trabajabilidad:

Una causa puede ser el tamaño máximo de la partícula grande lo que lleva a que obtengamos una superficie áspera y a la vez sea difícil de colocar. El agregado demasiado grueso también es una causal por lo que se nos hace más difícil la compactación, otra cosa que afecta es demasiada arena de tamaño medio esto hace que la mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece blanda. Una mezcla blanda y altamente permeable es el efecto por el bajo contenido de relleno mineral, si es alto el contenido de relleno mineral puede pasar que la mezcla quede muy viscosa, difícil de manejar y poco durable con el paso del tiempo.

Mala resistencia a la fatiga esto es otro efecto de una mezcla no adecuada. Las causas pueden ser el bajo contenido de asfalto lo que provoca el agrietamiento por la fatiga, otra cosa es el envejecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento por fatiga a causa de contenidos altos de vacíos en el diseño de la mezcla, lo mismo ocurre por la falta de compactación. Demasiada flexión seguida por el agrietamiento por fatiga el efecto por el espesor inadecuado del pavimento

Poca resistencia al deslizamiento.

La exudación lo que provoca la poca resistencia al deslizamiento es el efecto del exceso de asfalto. El agregado mal graduado o con mala textura es la causa de

un pavimento liso lo que provoca la posibilidad de hidropelaje. La poca resistencia al deslizamiento es provocada por el agregado pulido en la mezcla.

Estabilidad baja.

El exceso de asfalto en la mezcla provoca ondulaciones, ahuellamiento y afloramiento o exudación en el pavimento. La baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo y la dificultad en la compactación es el efecto del exceso de arena de tamaño medio en la mezcla. El agregado redondeado sin o con pocas superficies trituradas provocan el ahuellamiento y canalización.

Poca durabilidad.

En este caso el bajo contenido de asfalto provoca el endurecimiento rápido de asfalto y desintegración por pérdida de agregado, el endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración es el efecto por el alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación. El agregado susceptible al agua (hidrofílicos) provoca que películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado o desintegrado.

Mezclas demasiado permeable.

El bajo contenido de asfalto provoca que las películas delgadas de asfalto causaran tempranamente un envejecimiento y una desintegración de la mezcla, el agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla es causada por el alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño. Y la compactación causa altos vacíos en el pavimento lo cual conduciría a infiltración de agua y baja estabilidad.

Los deterioros que ocurren en los pavimentos asfálticos pueden ser estructurales, por que los componentes de la estructura del pavimento se reduce en forma apreciable la capacidad de soportar las cargas producidas por el tráfico o simplemente por los efectos externos por ejemplo el clima; otro tipo de falla son las

funcionales las que se traducen en que el pavimento no reúne las condiciones del nivel de servicio requerido, causando molestias a las personas o incluso desperfectos en los vehículos que transitan en este pavimento, también que es aun peor es que las fallas sean la combinación de ambos que es mucho peor.

Las causas de los deterioros o fallas son el tráfico y dentro de éste están el exceso de carga en los ejes, el exceso de repeticiones de cargas y la alta presión de los neumáticos; otro factor importante como lo describía anteriormente es el clima ya que por el mal drenaje de las aguas lluvias, las altas o bajas temperaturas, la oxidación, los ciclos de hielo y deshielo, y los cambios de volumen en los suelos es decir ciclos secos y húmedos.

#### 4.6.2.- Efectos de una mala compactación

Dentro de los defectos o deformaciones más comunes podemos encontrar:

- **PÉRDIDA DE AGREGADO** (remoción de partículas ( $d > 6\text{mm}$ ) de la superficie). Las causas más probables pueden ser el déficit de asfalto o la facturación y/o desintegración de partículas debido a las cargas o a la acción de heladas.
  
- **DESGRANAMIENTO** (pérdida de material desde la superficie hacia abajo). Las causas de este defecto pueden ser: mezclas con agregados sucios, insuficiente contenido de asfalto, mala adherencia agregado - asfalto, infiltración de agua por deficiente compactación de la mezcla y/o endurecimiento del asfalto por envejecimiento.
  
- **ONDULACIÓN TRANSVERSAL**. Puede ser producto del uso de mezclas de baja estabilidad o una deficiente adherencia entre la capa de rodado y la capa

subyacente. Las frenadas bruscas de vehículos pesados en intersecciones son otra causa frecuente de este tipo de ondulación.

- ONDULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO (longitudinal). Además de la baja estabilidad de la mezcla y la mala adherencia entre capas, una base granular inestable es causa probable de esta falla. Los deslizamientos severos crean ondulaciones transversales en la superficie del pavimento perpendicular a las tracciones aplicadas
- Causas principales son el flujo visco elástico de la mezcla, mal diseño de mezclas, vacíos de aire, vacíos en el agregado mineral, selección de asfalto, Mala interconexión de los agregados, altas tracciones de corte en el paso de la rueda (intersecciones, curvas cerradas) o mala aplicación del riego de liga



El principal problema que trae esto consigo es que ocurre una desintegración estructural la única solución para esto es la nivelación y la repavimentación.

Causa: estas corrugaciones, producto del acarreo o desplazamiento de mezcla usualmente ocurren en pavimentos con poca estabilidad en su mezcla. Esto puede ser por exceso de asfalto en la mezcla o que este muy blando; y en algunos casos se

debe a que la granulometría usada no es la adecuada o que los agregados son de forma muy redondeada o de textura muy suave. Este tipo de falla también suele ocurrir en el caso de que se use asfaltos líquidos y no se permita el suficiente tiempo de aireación entre capa y capa.

Reparación: Si el pavimento corrugado consta de una base de agregado con un tratamiento superficial, una medida correctiva consiste en escarificar la superficie, mezclar con la base y mezclar con la base y recomprimir la mezcla antes de repavimentar encima. Para empezar se tiene que escarificar y romper la superficie después se mezcla el material triturado con el material de base hasta una profundidad de 10 a 15 cm., compactar y dar forma terminada a la nueva base, imprimir la base y finalmente hacer un nuevo tratamiento superficial.

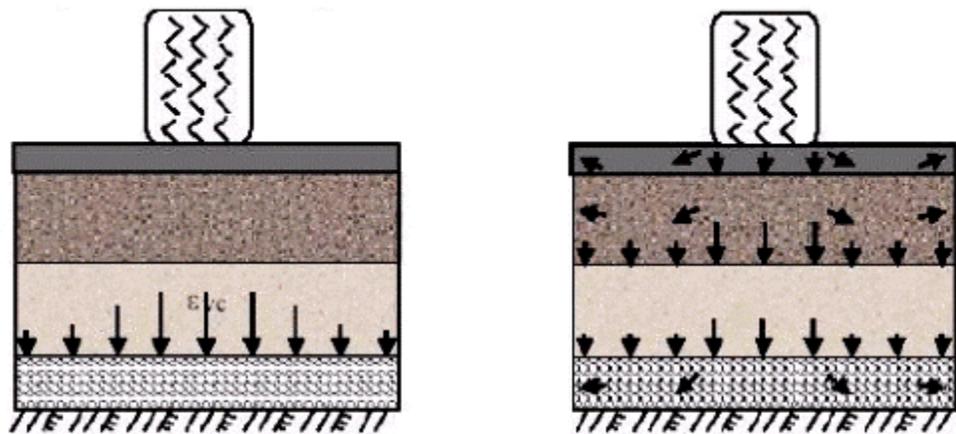
o AHUELLAMIENTO o Rutting (depresión transversal en la zona de circulación). Ahuellamiento es una depresión en el paso de la rueda del pavimento o en los bordes del pavimento. El ahuellamiento. Existen dos casos principales:

El primero es causado por aplicaciones repetidas de carga en el suelo natural (subrasante), la subbase o base. Aunque la utilización de asfaltos duros evita parcialmente este ahuellamiento, es considerado un problema estructural más que de los materiales. Puede ser producto de bajos espesores o ingreso de humedad a la subrasante.

El otro tipo de ahuellamiento se debe a la acumulación de deformaciones en las capas asfálticas. Es causado por una mezcla de baja resistencia al corte, ya sea de la capa superficial o de una inferior. Este fenómeno puede asociarse frecuentemente a las altas temperaturas, la poca compactación o uso excesivo de asfalto y puede evitarse con el uso de asfaltos duros y agregado con un ángulo de fricción interna alto.

Las causas principales del ahullamiento son: la consolidación en corto plazo de la mezcla, o sea vacíos de aire muy altos o muy bajos, un flujo visco-elastoplástico en la mezcla o en la sub-estructura, la abrasión que causa el paso de rueda, el mal diseño de la mezcla en si vacíos de aire, vacíos en el agregado mineral o la mala selección de asfalto; la mala interconexión de los agregados o significativamente las altas tracciones de corte que causa el paso de la rueda

El siguiente dibujo muestra la una de las principales causas del ahuellamiento:



Los problemas que conlleva este deterioro es la pérdida de la integridad estructural del pavimento, las irregularidades superficiales que incluso se denotan a

simple vista, la infiltración de aguas en las grietas que se producen, la exudación que lo detallaremos mas adelante y la perdida de resistencia al deslizamiento.

Reparación este tipo de defecto podrá ser reparado en dos formas, siendo la mas definitiva la de escarificar o pelar la capa superior nivelando con una maquina tipo roto-mill para después colocar una capa de rodado sobre esta superficie nivelada. El otro método consiste en rellenar las huellas o canales con mezcla en caliente para terminar después con una carpeta delgada de mezcla en todo el ancho.

Se delimitan las canalizaciones con la ayuda de un listón o lienza, marcando con tiza las zonas a rellenar, se deberá limpiar bien para aplicar posteriormente un ligero riego de liga de 0.5 a 0.8 lt/m<sup>2</sup>. A continuación se deberá esparcir concreto asfáltico de graduación densa en los canales o huellas, en lo posible con pavimentadora, asegurándose que la mezcla sea bien terminada en los bordes, posteriormente compactar con rodillo neumático o en su defecto de acero, finalmente se colocará una delgada capa de mezcla en caliente en todo el ancho de la carretera.

- DISTORSIÓN (pérdida importante de la geometría transversal original). Se produce por una falla de la infraestructura o una insuficiente capacidad de soporte de la subrasante.
  
- AGRIETAMIENTO o Cracking: agrietamiento longitudinal son grietas que van desde la superficie hacia el fondo. Se producen por fatiga y están relacionadas con las altas temperaturas. Además se le ha encontrado relación con fallas en la subrasante. Esta falla no tiene relación con el diseño ni con la preparación de mezcla.

Según su ubicación se pueden diferenciar distintas causas adicionales.

En la zona de circulación: causadas por cargas excesivas con relación a la estructuración del pavimento.

En el centro de la vía: causadas por deficiencias constructivas. En el centro de la calzada: causadas por deficiencias constructivas en la junta longitudinal.

En el borde: son causadas por un soporte insuficiente en el borde de pavimento o un ancho insuficiente.

Las causas son el diseño geométrico inadecuado el cual origina cargas muy cerca del borde, la insuficiente capacidad estructural, mal drenaje, la acción de las heladas



Los problemas asociados que trae como consecuencia es el bombeo, la infiltración de agua, la irregularidad del pavimento, la pérdida de resistencia estructural y algo muy importante que se pierde el ancho de la calzada.

Causa: generalmente este tipo de grietas es debida a la falta de soporte lateral del camino (bermas). Pudiendo también ser causadas por el asentamiento del material bajo el área.

Reparación: para una reparación temporal, se debe rellenar las grietas tal como si fueran grietas reflejadas, para una reparación más permanente rellene las

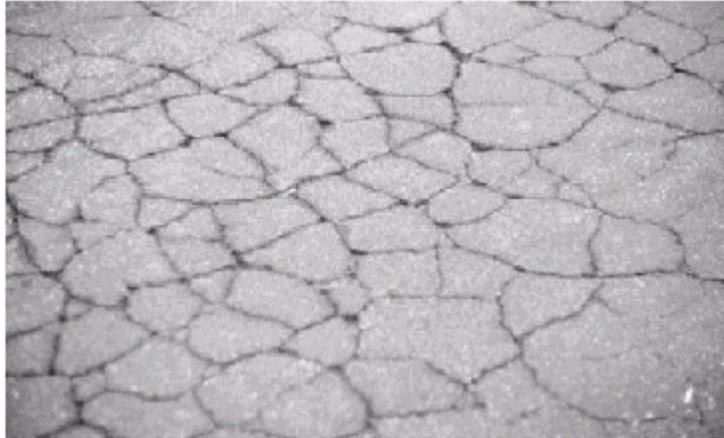
grietas con una lechada asfáltica o una mezcla de asfalto líquido con arena. En el caso de que el borde haya bajado por asentamiento, se deberá nivelar con mezcla asfáltica en caliente. Para la reparación hay que tomar en cuenta esto: mejorar el drenaje, instalando drenes si fuese necesario, limpiar el pavimento antiguo con escobillón o aire comprimido y rellenar las grietas con lechada asfáltica o bien asfalto líquido mezclado con arena, aplicar un riego de liga y nivelar los bordes asentado con material de mezcla en planta y finalmente se compacta con placa vibratoria.

- AGRIETAMIENTO SINUOSO. Son grietas sin dirección fija que se inician y terminan en los bordes del pavimento y sólo se deben a deficiencias constructivas.
  
- AGRIETAMIENTO TIPO PIEL DE COCODRILO (alligator). Es un agrietamiento asociado a las cargas, producido por fatiga. Estas grietas que van desde el fondo a la superficie, forman una red, en forma de bloques irregulares. Las causas más probables son diseño estructural insuficiente, acumulación de agua en las capas subyacentes a la carpeta asfáltica y/o mezclas muy frágiles debido a bajas temperaturas. También puede influir la consistencia del cemento asfáltico, el contenido de asfalto, los vacíos de aire, las características del agregado, las propiedades del suelo de fundación, temperatura y tráfico.

Causas de este deterioro son la insuficiencia estructural, el pobre drenaje que puede tener el pavimento, la mala compactación de las capas estructurales, las cargas extremadamente pesadas, los efectos del deshielo y por supuesto el envejecimiento del asfalto.

Existen tres tipos de agrietamiento tipo piel de cocodrilo: leve, moderada y severa, a continuación se verán en el mismo orden que fueron indicadas:

### Agrietamiento tipo cocodrilo severo



Problemas asociados que trae este deterioro es la irregularidad del pavimento (IRI), la posible infiltración de agua a la subestructura y la pérdida de la capacidad estructural esto es que pierde la capacidad de soportar las cargas del tráfico.

Reparación ya que la falla normalmente es debido a bases saturadas, sería necesario remover el material saturado y mejorar el sistema de drenaje.

El material removido será reemplazado por capas de material granular base, en espesores que no excedan 6 pulgadas compactando cada una hasta llegar a la última, la que se imprimirá y sobre esta se ejecutará el parche asfáltico.

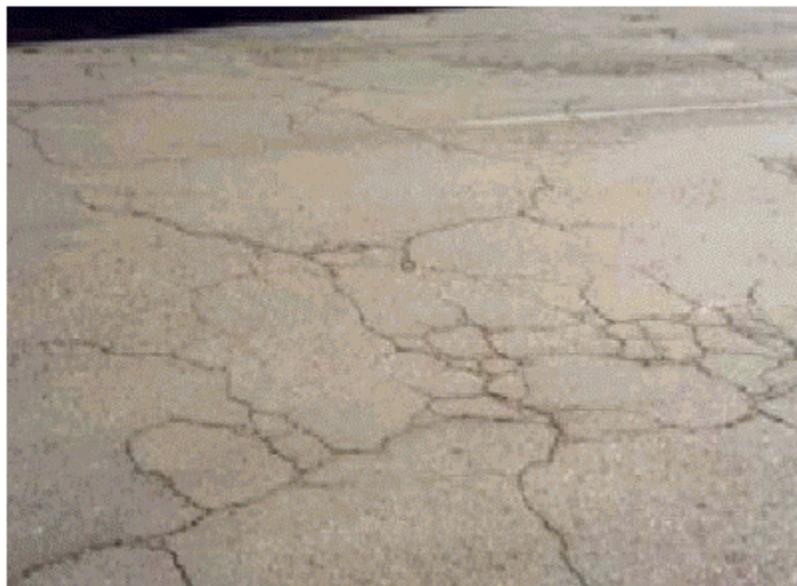
Más adelante se detallará el método de "Parche Profundo" que consiste en reemplazar todo el material removido con mezcla asfáltica o con capas de material granular terminando con una capa de rodado asfáltico, y también el Parche superficial que es el que más se practica en Chile y es el más económico.

- AGRIETAMIENTO IRREGULAR o GRIETAS DE MAPA. Son grietas sin orientación definida que forman grandes bloques producto de expansiones y contracciones o de refracción en grietas de repavimentación.

Las causas que conllevan a este deterioro son las tensiones térmicas, la contracción de la estructura del pavimento, exceso de carga, por colocación de la

mezcla con muy altas temperaturas y por supuesto la fragilidad por envejecimiento del asfalto.

Las irregularidades se dividen en 3: las leves que son inferiores a 6 mm o sello en buen estado, las moderadas que van desde 6 mm hasta 19 mm adyacente a otra moderada y por ultimo las severas que también van desde los 6 mm a 19 mm y adyacente a otras severas.



- GRIETAS DE DESLIZAMIENTO (Slipage). Son grietas producidas por el empuje de las ruedas sobre la superficie del pavimento. Estas se producen por una falta de buena adherencia entre la capa superficial y la superficie inferior. También pueden ocurrir por una mezcla con exceso de arena.
- AGRIETAMIENTO TÉRMICO: este agrietamiento se produce por los efectos de la temperatura y generalmente las grietas ocurren perpendicular al eje de la calzada, las grietas transversales que atraviesan semi y parcialmente la sección ocurren a distancias menores que las que atraviesan totalmente.

Las causas son la caída violenta de la temperatura que produce la contracción y a su vez las grietas, la contracción de la mezcla que excede la resistencia tensional

de la mezcla, la fatiga térmica, los ciclos de enfriamiento prolongados, los cementos asfálticos inadecuados esto tiene que ver con el clima y la fragilidad que alcanza el asfalto en su etapa de envejecimiento.



Problemas asociados son la infiltración del agua a la infraestructura, la pérdida de resistencia estructural y por supuesto las irregularidades del pavimento. Esto se puede resolver aserrando y sellando las grietas o simplemente la reconstrucción.

○ AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL estas son las que ocurren longitudinalmente en la calzada es decir paralelamente al eje.

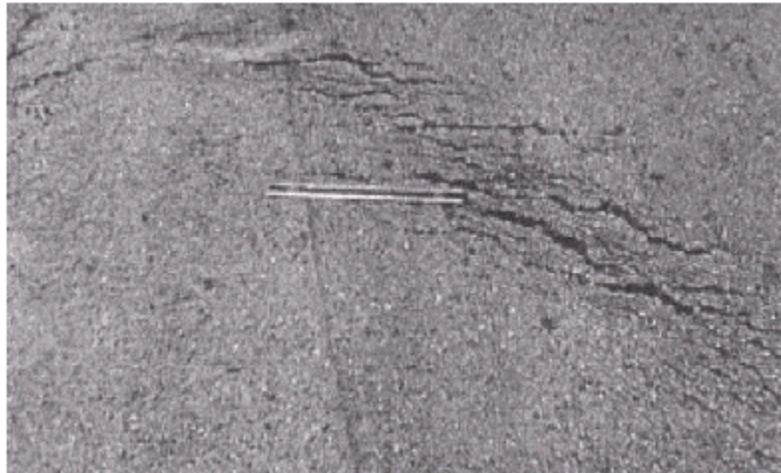
Las causas son por la mala unión entre los paños, la alta carga en la rueda, alta presión en el borde, malas técnicas de compactación, malas condiciones de drenaje, cemento asfáltico no adecuado o envejecido, por grietas provenientes de las capas inferiores, la contracción térmica y por la acción de la helada

Los problemas que trae asociado esto es la irregularidad, la infiltración de agua y la solución es el sellado de grietas, el reciclado o la reconstrucción.



- DESPLAZAMIENTO CON GRIETAS estas son desplazamientos de la capa superior del pavimento en este caso se producen con grietas, son comunes en las zonas de frenado, giros y aceleraciones a causa de las cargas que produce la rueda en el pavimento; las causas de esto es la mala adherencia entre las capas inferiores, el mal riego de liga, la defectuosa construcción de la capa, el exceso de asfalto en la mezcla, la mala estabilidad de la mezcla o el asfalto no era el adecuado.

Problemas asociados son la irregularidad del pavimento, la infiltración de agua, la pérdida de resistencia estructural



- BACHES esto son hoyos que se producen en la superficie del pavimento, las causas son la infiltración del agua en las grietas ya existentes, por mucha agua en la

mezcla, desprendimiento de áridos, por pérdidas de asfalto o por grietas severas ya existentes



Se dividen en leves que son de una profundidad de menos de 25 mm, moderada entre 25 a 50 mm y la alta de mas de 50 mm.

Los problemas asociados son las irregularidades en el pavimento, la infiltración de agua a las capas estructurales. La solución puede ser una reconstrucción, relleno con asfalto en frío.

Causa: estos agujeros son causados generalmente por debilidad en el pavimento, como resultado de una falta de asfalto en la mezcla, mala base del sector, demasiados o muy pocos finos así como mal drenaje.

Reparación: estos baches aparecerán generalmente cuando no se ha podido hacer una reparación permanente. Usualmente esta reparación temporal consiste en rellenar el agujero, previa limpieza, con material asfáltico. La reparación permanente consiste en cortar alrededor del bache hasta llegar a material de base sólido en los costados y el fondo, rellenando después con nuevo material de base y superficie de rodado.

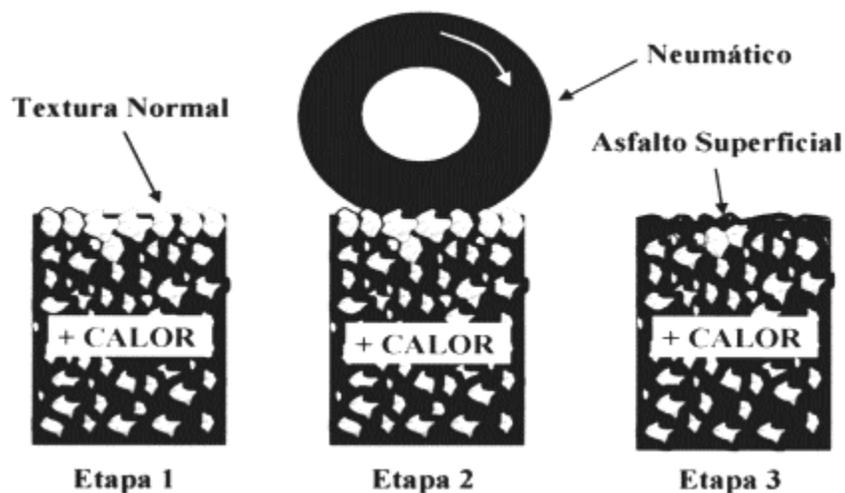
o PERDIDA DE AGREGADOS o Raveling (remoción de partículas ( $d > 6\text{mm}$ ) de la superficie)..Pérdida de agregados por migración del asfalto hacia estructura, se incluye meteorización superficial (weathering) que se produce más comúnmente en tratamientos superficiales o lechadas ( slurry seals) y consisten en la pérdida de la

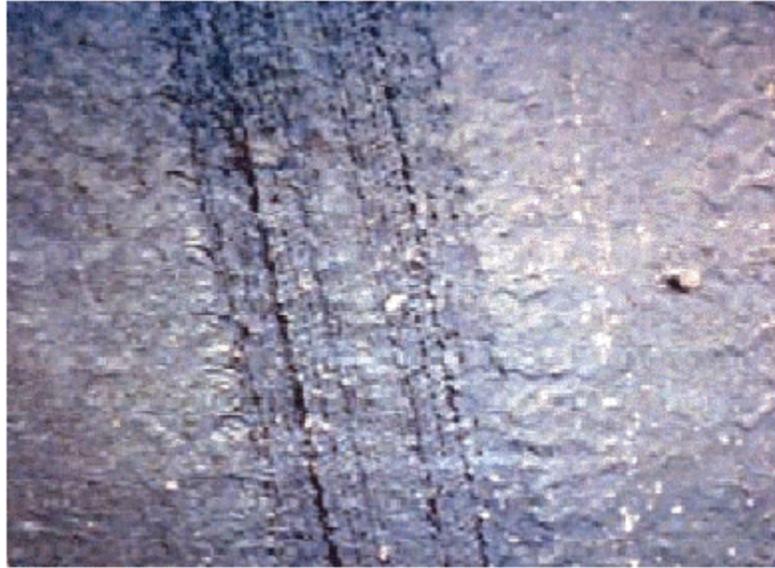
adherencia de los agregados con el asfalto. La pérdida de agregados indica un endurecimiento del asfalto o una mala aplicación del asfalto, la meteorización es sólo el endurecimiento del asfalto. En general se agudiza con tráfico y por acción del agua y por suciedad de los agregados.



o **EXUDACIÓN** (afloramiento de asfalto en la superficie) Este exceso de ligante se manifiesta como una superficie suave y resbaladiza en la zona de circulación, es decir que el asfalto comienza a escurrir hacia la superficie. Las causas son el exceso de asfalto en la mezcla, repavimento sobre un pavimento con exceso de asfalto, pavimentar sobre exceso de imprimante o riego de liga, bajo contenido de vacíos de aire en la mezcla, exceso de humedad en áridos de la mezcla.

#### MECANISMO QUE PUEDE GENERAR UNA EXUDACIÓN





Problemas asociados a la exudación es la pérdida del coeficiente de roce por quedar expuesto el asfalto, la debilidad de la carpeta superior o de rodado. Lo que se debe hacer es un fresado, un sello con agregados o simplemente la reconstrucción.

La causa más común de la exudación, la cual ocurre generalmente en clima cálido, es el exceso de asfalto en una o más capas del pavimento. Esto puede ser resultado de una mezcla en planta demasiado rica en asfalto, una capa de sello mal construida, una imprimación o riego de liga excesivos, o el acarreo de asfalto por el solvente en su ascenso a la superficie. Si en el caso de que la mezcla sea demasiado rica también influye el efecto si las cargas son demasiado grandes.

Reparación: la exudación puede ser corregida mediante repetidas aplicaciones de arena caliente para absorber el exceso de asfalto. A veces cuando la exudación es ligera, podría ser corregida mediante la aplicación de un tratamiento superficial mezclado en planta usando agregados absorbentes o con bajo contenido de asfalto.

- o PÉRDIDA DE ASFALTO esto es la pérdida de adhesión entre el asfalto y los agregados es extremadamente difícil de identificar por que generalmente ocurre debajo de la superficie entre capas. Las causas son muchos finos en la mezcla, generalmente comienza en la parte inferior de las carpetas y va progresando hacia arriba o comienza en la interfase de las capas asfálticas, otro factor que puede ser

causa es el agregado muy húmedo, el bajo contenido de asfalto o bien el sobrecalentamiento de la mezcla en la planta o en la compactación

Problemas asociados a la pérdida de asfalto es el envejecimiento acelerado, la pérdida de la estabilidad en la mezcla, puede provocar también ahuellamiento, ondulaciones, agrietamientos, desplazamientos.

o **DESGASTE DE AGREGADOS** es el desgaste que sufren los que están expuestos a la superficie ocurre generalmente por que el agregado es blando, la mezcla tiene baja estabilidad o por el uso de cadena de las llantas.



Problemas asociados a esto es la baja resistencia al deslizamiento, puede llevar fácilmente a la exudación.

o **BOMBEO** ocurre por la expulsión de los finos a la superficie a través de las grietas. Las causas de esto son que el agua que se encuentra en la subestructura expulsa el árido fino con la ayuda de las cargas de tráfico.

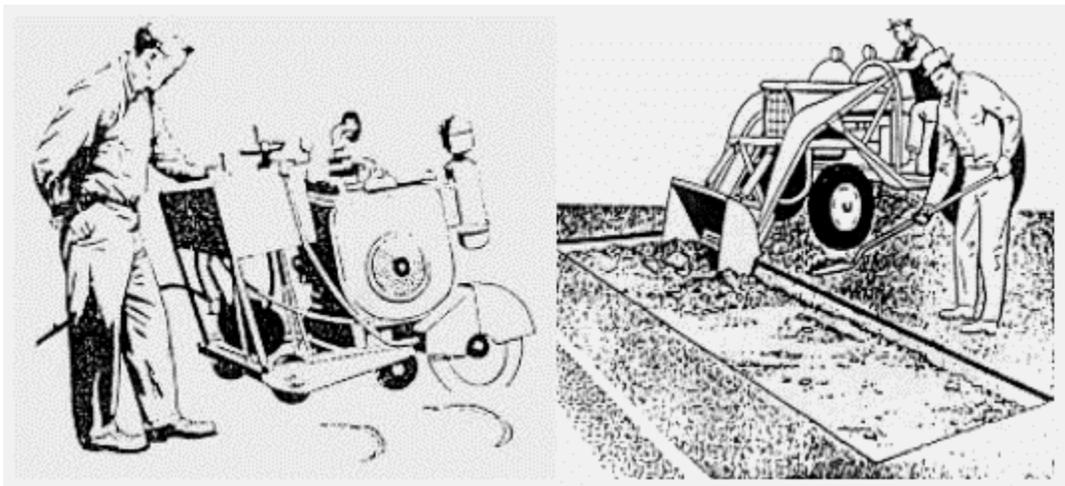


- ENVEJECIMIENTO u OXIDACIÓN esto es por el termino de la vida útil del asfalto en el caso del envejecimiento ya que la oxidación es por la cantidad de huecos, las causas son los excesos de vacíos, la falta de asfalto, altas proporciones de finos y/o arenas y la porosidad de la mezcla.

Los problemas que trae esto es la fragilidad de la mezcla, la perdida de la tenacidad de la mezcla, aumenta la pérdida de asfaltos y de los agregados

#### 4.7.- REPARACIONES

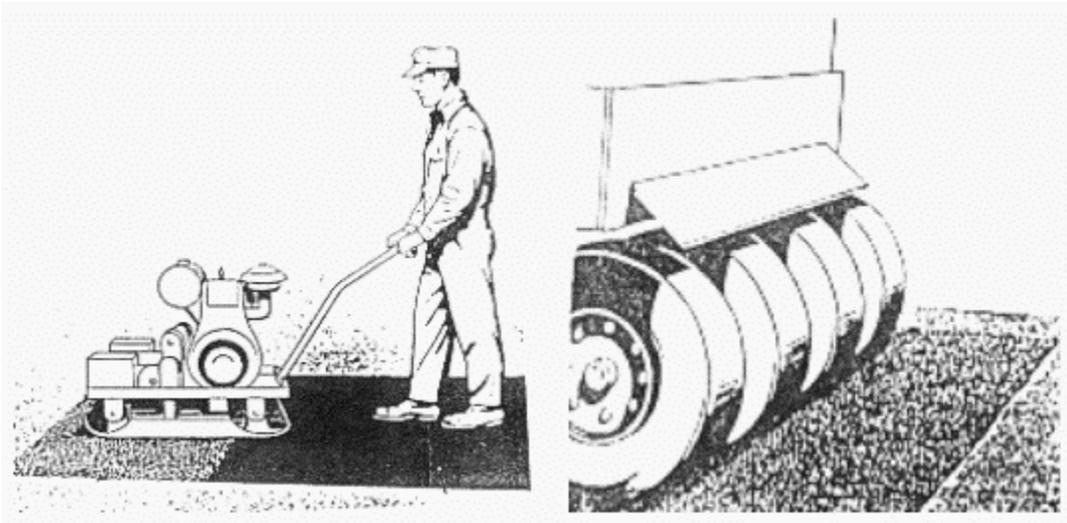
PARCHE PROFUNDO: para empezar se saca la superficie que sea necesaria, el corte se deberá extenderse a lo menos dos caras en ángulo recto con el camino, este corte se puede hacer con una sierra mecánica, la cual produce un corte claro y bien definido. Si el problema es por bases saturadas se deberá mejorar el drenaje.



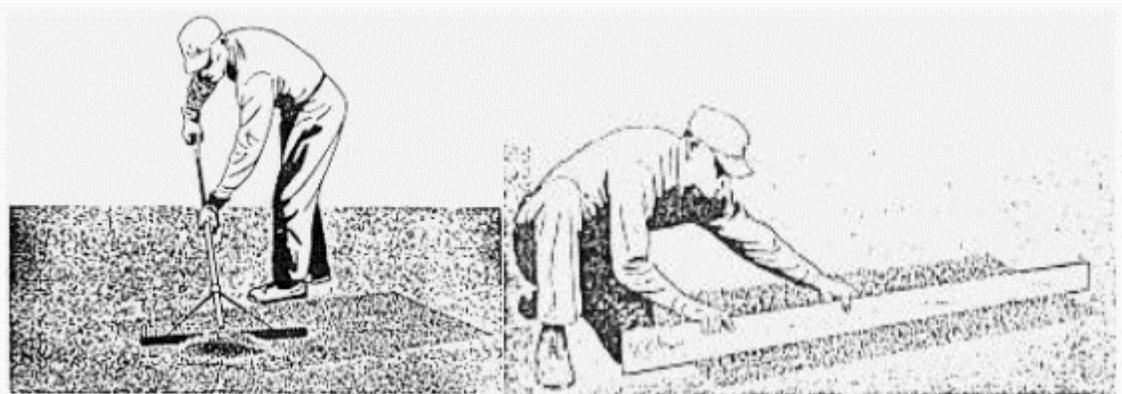
Posteriormente se aplica un riego de liga en las superficies verticales, para obtener un mejor resultado es posible rellenar el hueco con mezcla asfáltica de graduación densa hecha en planta, si no se dispone de mezcla, el relleno se hará con un buen material para bases compactando por capas.



Esta compactación se efectuará con el equipo que sea mas adecuado para el tipo de faena por ejemplo para parche chicos un compactador de placa vibratoria es el mas indicado y un rodillo para las de mayor superficie.



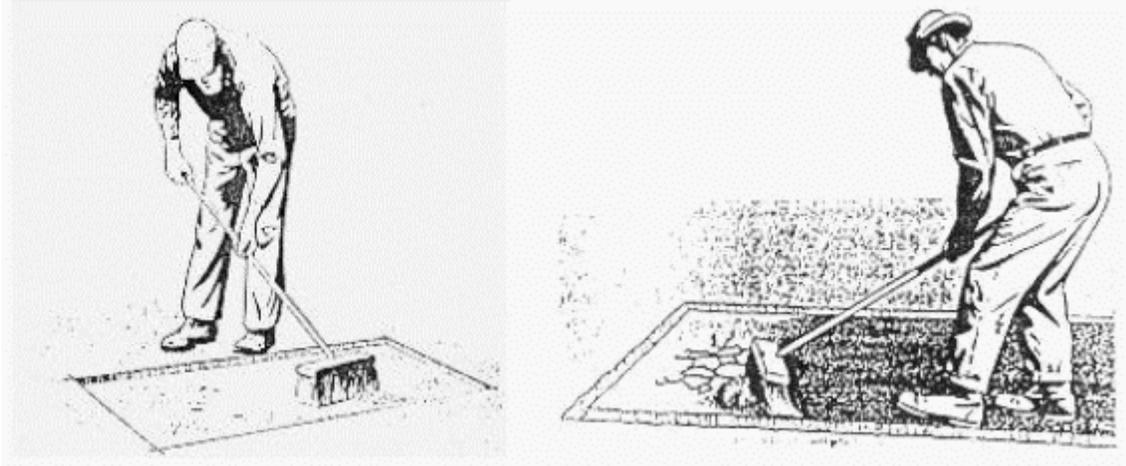
En el caso de rellenar el parche por completo con mezcla asfáltica no se requerirá de una imprimación al ser colocado lentamente sobre la subrasante. Si se rellena el parche con material granular, éste se deberá ser imprimado completándose la reparación al colocar material caliente en la superficie de rodado el cual será compactado al mismo nivel que el pavimento que lo rodea, también se podrá usar material mezclado en planta, para comprobar la alineación del parche en la superficie se usa una regla o lienza.



**PARCHE SUPERFICIAL:** esta reparación se hace en casos de áreas que haya grietas de mas de 3 mm de espesor es decir es una reparación temporal.

Se corta una pequeña zanja alrededor del área a ser parchada, esto de manera de proporcionar una cara vertical alrededor de la falla. Se limpia bien el área

agrietada con un escobillón y si fuese posible con aire comprimido. Se introduce la mezcla asfáltica de grano fino dentro de las grietas mediante el uso de una escoba.



Se compacta bien mediante una placa vibradora o un rodillo, posteriormente se aplica un riego de liga. Se coloca un parche delgado con mezcla asfáltica de planta, ya sea en caliente o en frío.

Las terminaciones de los bordes se ejecutarán cuidadosamente removiendo las partículas gruesas de agregado y rastrillando adecuadamente.

#### PARCHE MEDIANTE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON AGREGADO FINO.

(reparación temporal)

Este parche es para grietas menores de 3 mm. Se limpia la superficie agrietada con escobillón y si fuese posible con aire comprimido, se aplica la cantidad necesaria de asfalto líquido, emulsión o asfalto cortado (de tipo rápido o medio) sobre la superficie limpia. Generalmente de 0.6 a 1.0 lt/m<sup>2</sup> será suficiente a no ser que se pierda mucho asfalto a través de la grieta, en cuyo caso se deberá agregar un poco más. Se aplica inmediatamente el agregado sobre el asfalto recién aplicado, siendo recomendables los tamaños ¼ a N° 10 para este tipo de parches. El parche se deberá rodillar a continuación con equipo de ruedas neumáticas o en su defecto se podrá usar el mismo camión que llevo el agregado. En caso que fuera necesario de levantar mas el nivel final del parche para dejarlo igual que el pavimento de los

alrededores se deberá aplicar una segunda capa de sello y se deberá producir un buen curado antes de abrir el tránsito.

**PARCHE CON LECHADA ASFÁLTICA (Reparación temporal):** esta solución es para zonas agrietadas por exceso de carga. El área a reparar deberá estar limpia, se aplicará una lechada asfáltica de acuerdo con las condiciones del clima

#### 4.8.- COSTOS

Una de los factores que más influye en la construcción son los costos, en lo que es pavimentación no es la excepción ya que los costos son muy altos dependiendo del tipo de pavimento que se usará y dependiendo de las condiciones.

Los costos en construcción de pavimentos dependen de muchos factores:

- los costos de maquinaria
- tipo de asfalto que se usará
- distancia
- planta de asfaltos

Estos costos de todas formas también varían dentro de cada clasificación ya que en el caso de las maquinarias dependerá de la calidad de las máquinas, características de éstas, y por supuesto del tiempo que se ocuparán, dentro del tipo de asfalto esto va a depender de la ubicación de la obra ya que de acuerdo al clima se deberán usar diferentes tipos de asfaltos en este contexto también se deberá tomar en cuenta los áridos a usar y a qué distancia están éstos de la obra. Otra cosa que se debe tomar en cuenta es con qué tipo de planta de asfalto se va a ocupar ya que puede variar entre planta continua y discontinua, esto depende a su vez de los factores tiempo que estén implicados en la obra y por supuesto el clima asociado.

Ahora vamos a tomar los valores que están mencionados en algunos contratos que se han realizado en la Región de Los Lagos los cuales están el Ministerio de Obras Publicas de la Xª región.

En el caso de la obra "Mejoramiento Ruta 7 Longitudinal Sur Esposos de Empréstitos – El Amarillo" los costos por ítems como el del Tratamiento Superficial Doble el costo por m<sup>3</sup> es de \$ 2.599 y el de Imprimación es de \$ 724 por m<sup>2</sup> estos costos incluye el uso de maquinarias. En el uso de las maquinarias se determina por horas de uso los costos son por hora:

» Camión Tolva	\$ 11.000
» Rodillo Liso Tandem	\$ 12.500
» Rodillo Neumático	\$ 12.000
» Camión Imprimador	\$ 11.000
» Gravilladora	\$ 10.500
» Extendedora de Asfalto	\$ 16.000
» Planta de Asfalto	\$ 45.000
» Camión Aljibe	\$ 5.500

Los valores de los materiales principales es decir de las emulsiones y de los asfaltos son:

» Asfalto Emulsión CRS – 2	\$ 216	c/Kg
» Asfalto MC – 30	\$ 313	c/Kg
» Asfalto CA – 60 – 80	\$ 225	c/Kg

En conclusión se puede decir que el m<sup>2</sup> de Tratamiento Superficial simple tiene un costo de alrededor de los \$ 32.000 y de un Tratamiento Superficial Doble es de \$ 22.951 m<sup>2</sup>

Costo de pavimentación con doble tratamiento con tipo de cemento asfáltico MC 80 – 100, este estudio de costo se extrajo de un presupuesto otorgado a una constructora por el Ministerio de Obras Publicas de Chile es la obra de reposición de la ruta V – 60 Bifurcación Paraguay Chico – Los Muermos. Este presupuesto se hace

sobre la base de un presupuesto que determina el Ministerio de Obras Publicas, que es el Presupuesto Oficial el cual se compara con el presupuesto que realiza de acuerdo a sus estudios la empresa que construirá y esta da por resultado el Presupuesto Compensado que es el final y definitivo, este presupuesto como su nombre lo dice compensa algunos valores, es decir baja el valor a algunos ítem y los compensa con la sobre valoración de algunos ítem.

Tabla de costos obra “ Reposición Ruta V – 60 Bifurcación Paraguay Chico –

Los Muermos”

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
A.- Camino				
Remoción de estructura	m3	82	23,310	1,911,420
Remoción de ductos	m	273	4,424	1,207,752
Remoción de pavimentos de Hormigón	m2	3,178	1,823	5,793,494
Remoción de Obras de Drenaje Superficial	m	4,039	1,207	4,875,073
Remoción de Defensas Camineras Simple	m	492	3,468	1,706,256
Remoción de Señalización Vertical Lateral	n°	51	3,210	163,710
Remoción de Aceras	m2	2,258	626	1,413,508
Remoción de Cercos	m	17,568	358	6,289,344
Remoción de Portones	n°	11	5,430	59,730
Remoción de Paraderos Locomoción	n°	10	75,483	754,830
Traslado de Postación	Gl	1	12,500,000	12,500,000
Remoción de Construcciones	m2	329	6,888	2,266,152
Despeje y Limpieza de Faja	Km	15	442,270	6,846,340
Excavación de Escarpe	m3	18,887	1,950	36,829,650
Remoción de Material Inadecuado	m3	500	2,512	1,256,000
Excavación de Corte en Terreno	m3	39,413	1,709	67,356,817
Exc. En Terreno para Drenaje y Estructuras	m3	2,026	2,923	5,921,998
Geotextil para Estabilización de Suelos	m2	1,000	771	771,000
Formación y Compactación de Terraplenes	m3	91,138	2,518	229,485,484
Relleno Estructural	m3	980	6,387	6,259,260
Preparación de Subrasante	m2	81,508	279	22,740,732
Subbase Granular, CBR mayor al 40%	m3	11,600	6,450	74,820,000
Subbase Granular, CBR mayor al 50%	m3	1,235	6,684	8,254,740
Base Granular, CBR mayor al 80%	m3	24,201	7,003	169,479,603
<b>Imprimación</b>	<b>m2</b>	<b>106,153</b>	<b>533</b>	<b>56,579,549</b>
<b>Tratamiento Superficial Simple</b>	<b>m2</b>	<b>32,000</b>	<b>923</b>	<b>29,536,000</b>
<b>Tratamiento Superficial Doble</b>	<b>m2</b>	<b>22,951</b>	<b>1,561</b>	<b>35,826,511</b>
Concreto Asfáltico de Superficie	m3	5,459	64,609	352,700,531
Pav. de Hormigón de Cemento Hidráulico	m3	1,442	98,625	142,217,250
Hormigón Grado H - 5	m3	17	51,730	879,410
Hormigón Grado H - 20	m3	209	110,744	23,145,496
Hormigón Grado H - 30	m3	255	117,623	29,993,865
Acero para Armaduras	Kg	14,571	703	10,243,413
Revestimientos de Mampostería de Piedra	m2	39	12,907	503,373
Aceras de Hormigón	m2	2,147	8,208	17,622,576

Tubos de Base Plana de A.R. D = 0,80 m	m	333	54,714	18,219,762
Tubos de Base Plana de A.R. D = 1,00 m	m	142	83,430	11,847,060
Tubos de Base Plana de A.R. D = 1,20 m	m	80	122,307	9,784,560
Construcción de Subdrenes	m	4,282	9,404	40,267,928
Embudos para Descarga de Aguas	n°	32	136,318	4,362,176
Descargas Agua en Tubos Corru. D = 0,6 m	m	64	59,941	3,836,224
Soleras Tipo "A"	m	666	10,120	6,739,920
Soleras Tipo "C"	m	498	7,002	3,486,996
Soleras con Zarpa Hormigón ancho 0,5 m	m	1,425	15,952	22,731,600
Cunetas de Hormigón	m	4,440	12,570	55,810,800
Cunetas de Hormigón tipo Badén	m	226	32,848	7,423,648
Const. De Fosos y Contrafoso sin Revestir	m	5,524	1,260	6,960,240
Const. De Fosos a Revestir con Hormigón	m	2,100	1,955	4,105,500
Revestimiento de Fosos	m3	471	127,550	60,076,050
Cerco de Alambre de Púas	m	17,929	2,583	46,310,607
Portones de una Hoja	n°	8	129,791	1,038,328
Portones de dos Hojas	n°	3	260,844	782,532
Señalización Vertical Lateral	n°	91	69,247	6,301,477
Delineadores Direccionales Simples	n°	16	36,135	578,160
Baliza Número de Ruta y Kilómetros	n°	2	36,882	73,764
Demarcación del Pav. Línea Central Continua	Km	9	318,849	3,000,369
Demarcación del Pav. Línea Central Discont.	Km	9	202,679	1,767,361
Demarcación del Pav. Línea Lateral Continua	Km	31	259,529	8,006,470
Demarcación del Pav. Línea y símbolos	m2	1,427	1,243	1,773,761
Tachas Reflectantes	n°	1,495	2,777	4,151,615
Tachones Reflectantes	n°	540	14,984	8,091,360
Casetas para Paraderos Locomoción	n°	13	1,280,693	16,649,009
defensas Camineras Galvanizadas	m	492	19,811	9,747,012
Limpieza de Alcantarillas Menores a 1 m	m	34	2,681	91,154
Limpieza de alcantarillas de Alturas mayores	m	78	2,968	231,504
Rehabilitación de Cauce	m	930	1,902	1,768,860
Rehabilitación de Fosos	m	4,971	1,261	6,268,431
Bacheo Superficial	m2	3,200	5,415	17,328,000
Reja Metálica de Protección	m	24	24,561	589,464
<b>TOTAL NETO</b>				<b>1.758.412.569</b>

Tabla de precios de la obra “ Mejoramiento Ruta 7 Longitudinal Austral  
Expozos Empréstito – El Amarillo”

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	TOTAL
Remoción de estructuras	m3	140.00	27,852.00	3,899,280
Remoción de ductos	m	42.00	5,570.00	233,940
Remoción de defensas camineras simples	m	54.00	3,714.00	200,556
Remoción de señalización vertical lateral	n°	11.00	5,570.00	61,270
Remoción de cercos	m	4,363.00	557.00	2,430,191
Remoción de casetas paraderos loc. colectiva	n°	2.00	111,407.00	222,814
Despeje y Limpieza de faja	km	13.70	340,409.00	4,663,603
Excavación de escarpe	m3	27,996.00	1,764.00	49,384,944
Remoción material inadecuado	m3	4,308.00	2,012.00	8,667,696
Excavación de corte	m3	3,015.00	1,578.00	4,757,670
Remoción de material de fundación	m3	716.00	1,919.00	1,374,004

Excavación para drenajes y estructuras	m3	5,462.00	3,621.00	19,777,902
Geotextil para estabilización de suelos	m2	58,896.00	1,053.00	62,017,488
Geotextil para control de la erosión	m2	488.00	1,114.00	543,632
Formación y compactación de terraplenes	m3	182,890.00	2,909.00	532,027,010
Relleno estructural	m3	3,040.00	6,622.00	20,130,880
Gaviones de protección	m3	450.00	30,946.00	13,925,700
Preparación de la subrasante	m2	138,077.00	303.00	41,837,331
Reconf. y compac. de la plataforma existente	m	2,200.00	2,476.00	5,447,200
Subbase granular, CBR mayor al 40 %	m3	17,830.00	6,375.00	113,666,250
Base granular, CBR mayor al 100 %	m3	16,826.00	7,365.00	123,923,490
<b>Imprimación</b>	<b>m2</b>	<b>107,216.00</b>	<b>724.00</b>	<b>77,624,384</b>
<b>Tratamiento superficial doble con elastómero</b>	<b>m2</b>	<b>103,766.00</b>	<b>2,599.00</b>	<b>269,687,834</b>
Hormigón grado H - 5	m3	36.00	61,893.00	2,228,148
Hormigón grado H - 20	m3	325.00	111,407.00	36,207,275
Hormigón grado H - 30	m3	817.00	121,309.00	99,109,453
Acero para armaduras	kg	50,465.00	928.00	46,831,520
Tubos circulares de metal corrugado, D=1,00 m	m	177.00	123,785.00	21,909,945
Tubos circulares de metal corrugado, D=1,20 m	m	243.00	160,921.00	39,103,803
Tubos circulares de metal corrugado, D=1,50 m	m	8.00	247,570.00	1,980,560
Tubos circulares de metal corrugado, D=2,00 m	m	160.00	340,409.00	54,465,440
Tubos circulares de metal corrugado, D=2,50 m	m	8.00	420,869.00	3,366,952
Embudos para descargas de agua	n°	1.00	167,110.00	167,110
Desc. Agua en tubos corr. media caña, D=0,60 m	m	2.00	68,082.00	136,164
Soleras tipo "A"	m	72.00	9,903.00	713,016
Soleras tipo "C"	m	160.00	7,798.00	1,247,680
Soleras con zarpa de hormigón	m	240.00	20,239.00	4,857,360
Cuneta de hormigón, tipo badén	m	16.00	37,136.00	594,176
Const. de fosos y contraf. sin revestir b=1,50 m	m	1,224.00	2,971.00	3,636,504
Const. de fosos y contraf. sin revestir b=2,50 m	m	9,916.00	5,942.00	58,920,872
Const. de fosos y contraf. sin revestir b=3,50 m	m	3,874.00	11,883.00	46,034,742
Const. canales, fosos y contraf. c/cotas fondo.	m3	38,437.00	1,052.00	40,435,724
Cerco de alambres de púas	m	19,580.00	2,816.00	55,137,280
Portones de dos hojas	n°	12.00	235,192.00	2,822,304
Señalización vertical lateral	n°	55.00	86,650.00	4,765,750
Delineadores direccionales simples	n°	28.00	47,038.00	1,317,064
Baliza número de ruta y kilómetro	n°	6.00	47,038.00	282,228
Demarc. pavimento. Línea central continua	km	8.11	445,626.00	3,614,027
Demarc. pavimento. Línea central segmentada	km	9.95	259,949.00	2,586,493
Demarc. pavimento. Línea lateral continua	km	22.76	272,327.00	6,198,163
Tachas reflectantes	n°	559.00	4,271.00	2,387,489
Casetas para paraderos de loc. colectiva	n°	6.00	1,145,011.00	6,870,066
Def. camineras galv. simples de doble onda	m	91.00	27,852.00	2,534,532
Limpieza de alcant. De altura mayor 1,00 m	m	168.00	3,404.00	571,872
Rehabilitación de cauces	m	280.00	3,404.00	953,120
<b>TOTAL NETO</b>				<b>1,908,491,900</b>

## CONCLUSIONES

Del presente trabajo se concluye lo siguiente:

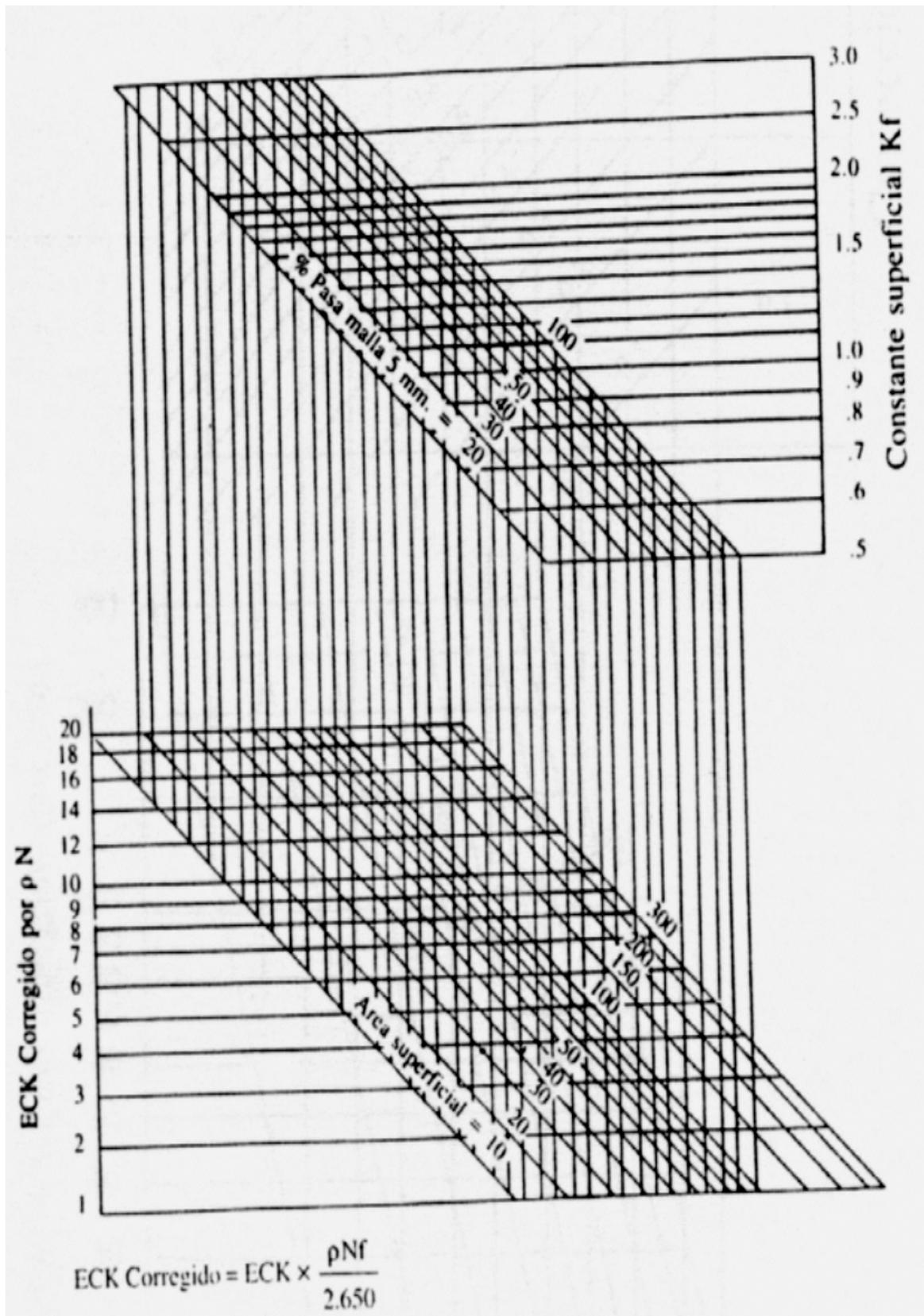
- ❖ Las emulsiones debido a su baja viscosidad pueden ser usados como imprimantes ya que pueden penetrar las bases granulares permitiendo una mejor unión de la capa granular con el binder o base del tratamiento superficial, además gracias a su gran trabajabilidad son un elemento que sirven como riego de liga, lechadas asfálticas, riegos negros (fog seal).
- ❖ Las irregularidades de los pavimentos asfálticos dependen de varios factores: una compactación no adecuada, maquinarias en mal estado, una falla en la planta de asfalto, una mezcla mal determinada, hasta problemas con el clima y distancias, por lo que se deberá considerar las recomendaciones dadas en el texto.
- ❖ Después de una pavimentación una parte importante es la conservación de ésta, la que conlleva desde la limpieza de la faja, hasta la reparación de las irregularidades provocadas en la pavimentación y que se van acentuando por el flujo vehicular. Debido a que en Chile la conservación no es realizada como se debería hacer según las normativas, los costos se incrementan por concepto de repavimentación.
- ❖ Como el clima es muy frío en el sur de nuestro país las pavimentaciones se deben hacer en época de mayores temperaturas, por ende no hay plantas dedicadas a la fabricación de asfaltos y ello trae consigo una falta de laboratorios dedicados al tema, habiendo un laboratorio de asfaltos en la

Dirección de Vialidad de la Ciudad de Puerto Montt y que además no es muy completo debido al costo de los equipos.

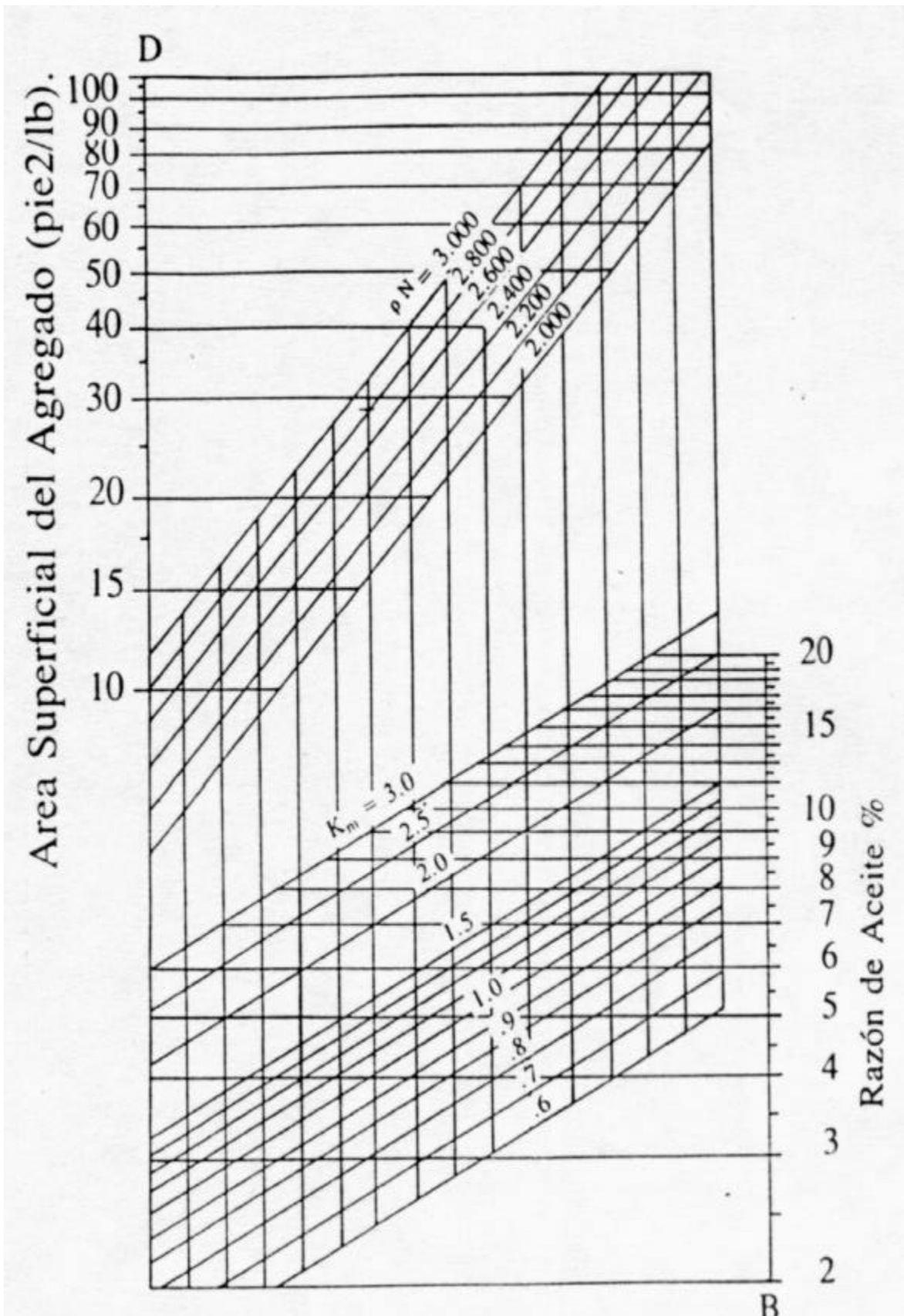
- ❖ En una planta asfáltica no es posible tener un laboratorio completo debido al instrumental que por una parte es de mucho valor y por otra que tienen que estar seguros y bien calibrados.

Anexo N° 1

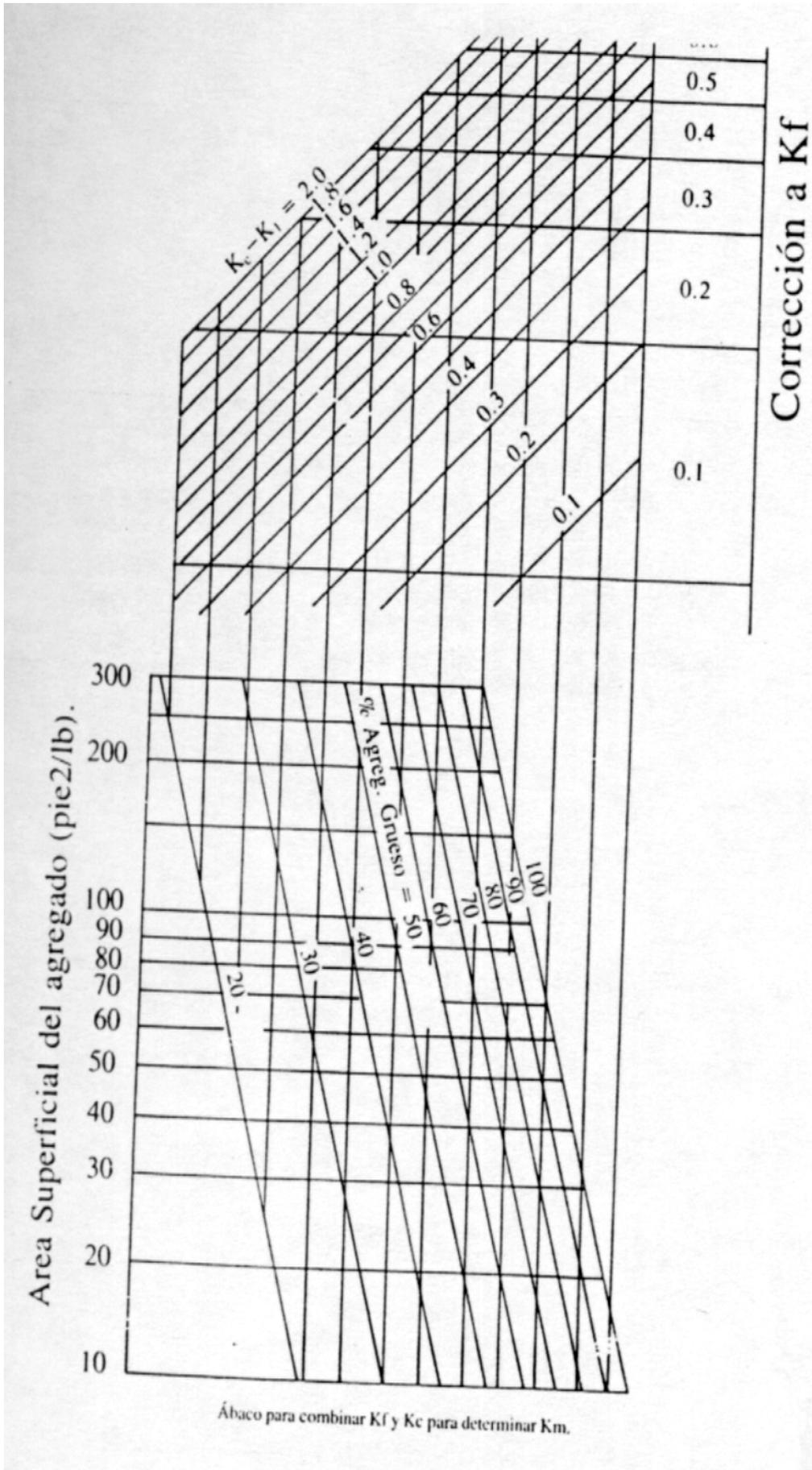
ABACOS DEL METODO DE DISEÑO HVEEM



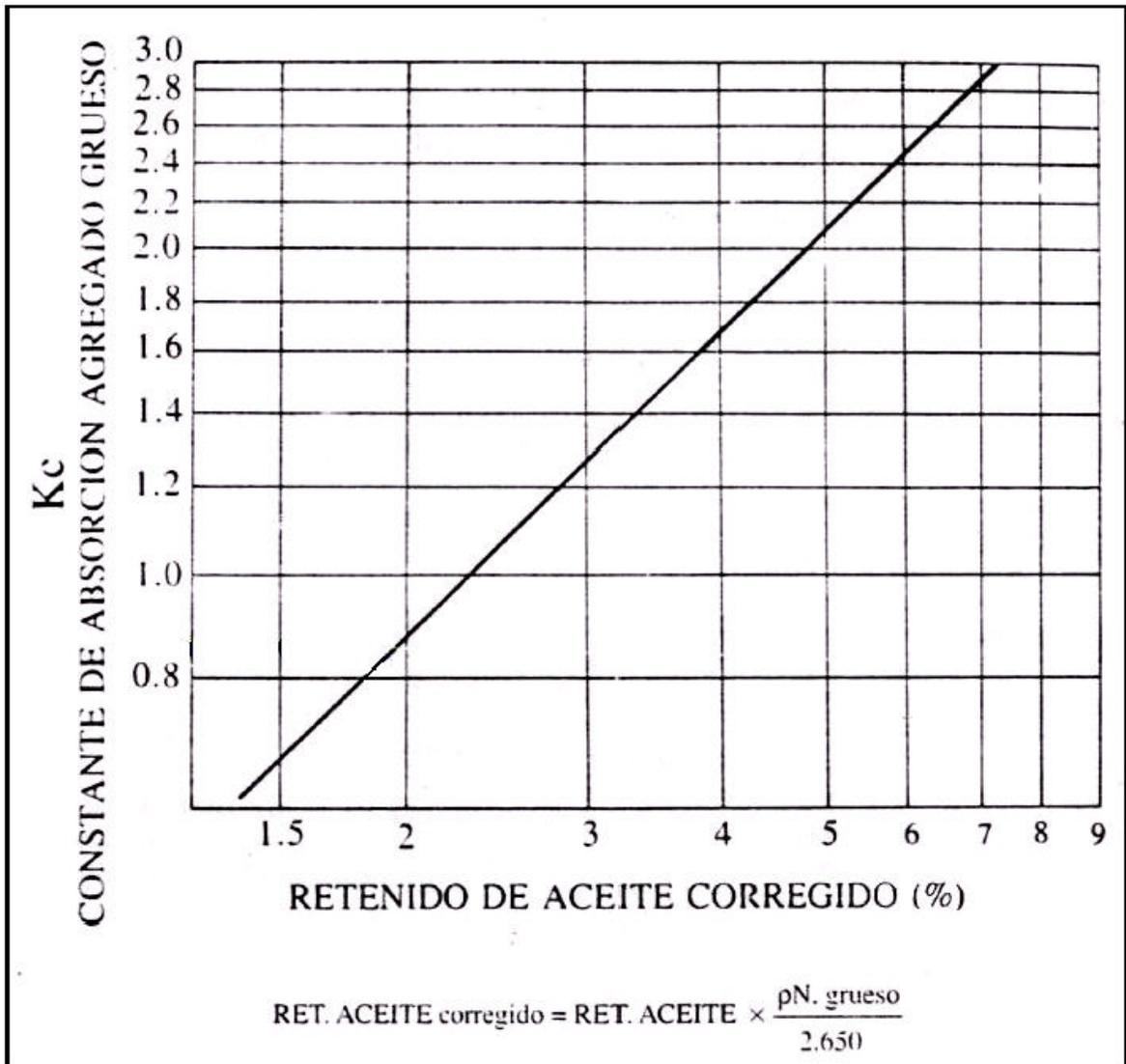
Ábaco para calcular  $K_f$  a partir de ECK corregido



Ábaco para determinar la constante de absorción del agregado grueso,  $K_c$



Ábaco para la determinación del parámetro "Km"



Ábaco para la determinación del porcentaje en peso de asfalto (razón de aceite) del tipo SC-250, MC-250 y RC-250

Anexo N° 2

FACTORES DE CORRECCION  
POR ALTURAS DE PROBETAS  
MARSHALL

ALTURA	CONSTANTE	ALTURA	CONSTANTE	ALTURA	CONSTANTE
3,15	3.902	3,7	2.952	4,25	2.128
3,16	3.884	3,71	2.936	4,26	2.116
3,17	3.867	3,72	2.921	4,27	2.104
3,18	3.850	3,73	2.905	4,28	2.092
3,19	3.833	3,74	2.889	4,29	2.080
3,20	3.815	3,75	2.874	4,30	2.070
3,21	3.798	3,76	2.858	4,31	2.060
3,22	3.780	3,77	2.843	4,32	2.050
3,23	3.763	3,78	2.827	4,33	2.040
3,24	3.745	3,79	2.811	4,34	2.030
3,25	3.728	3,80	2.796	4,35	2.020
3,26	3.710	3,81	2.780	4,36	2.010
3,27	3.693	3,82	2.763	4,37	2.000
3,28	3.675	3,83	2.745	4,38	1.990
3,29	3.658	3,84	2.728	4,39	1.980
3,30	3.640	3,85	2.710	4,40	1.970
3,31	3.623	3,86	2.693	4,41	1.960
3,32	3.605	3,87	2.675	4,42	1.950
3,33	3.588	3,88	2.658	4,43	1.940
3,34	3.570	3,89	2.640	4,44	1.930
3,35	3.554	3,90	2.623	4,45	1.920
3,36	3.538	3,91	2.605	4,46	1.912
3,37	3.522	3,92	2.588	4,47	1.904
3,38	3.506	3,93	2.570	4,48	1.896
3,39	3.490	3,94	2.553	4,49	1.888
3,40	3.474	3,95	2.535	4,50	1.879
3,41	3.458	3,96	2.517	4,51	1.871
3,42	3.442	3,97	2.500	4,52	1.863
3,43	3.426	3,98	2.486	4,53	1.855
3,44	3.410	3,99	2.471	4,54	1.855
3,45	3.394	4,00	2.457	4,55	1.847
3,46	3.378	4,01	2.443	4,56	1.839
3,47	3.362	4,02	2.428	4,57	1.831
3,48	3.346	4,03	2.414	4,58	1.823
3,49	3.330	4,04	2.399	4,59	1.814
3,50	3.311	4,05	2.385	4,60	1.806
3,51	3.293	4,06	2.371	4,61	1.798
3,52	3.274	4,07	2.356	4,62	1.790
3,53	3.255	4,08	2.342	4,63	1.782
3,54	3.236	4,09	2.328	4,64	1.774
3,55	3.218	4,10	2.313	4,65	1.766
3,56	3.199	4,11	2.299	4,66	1.758
3,57	3.180	4,12	2.284	4,67	1.750
3,58	3.161	4,13	2.270	4,68	1.734
3,59	3.143	4,14	2.258	4,69	1.726
3,60	3.124	4,15	2.246	4,70	1.718
3,61	3.105	4,16	2.234	4,71	1.710
3,62	3.086	4,17	2.223	4,72	1.702
3,63	3.068	4,18	2.211	4,73	1.694
3,64	3.049	4,19	2.199	4,74	1.686
3,65	3.030	4,20	2.187	4,75	1.678
3,66	3.014	4,21	2.175	4,76	1.670
3,67	2.999	4,22	2.163	4,77	1.663
3,68	2.983	4,23	2.151	4,78	1.656
3,69	2.968	4,24	2.139	4,79	1.649

ALTURA	CONSTANTE	ALTURA	CONSTANTE	ALTURA	CONSTANTE
4,80	1.643	5,34	1.346	5,88	1.140
4,81	1.636	5,35	1.342	5,89	1.137
4,82	1.629	5,36	1.338	5,90	1.134
4,83	1.622	5,37	1.333	5,91	1.131
4,84	1.615	5,38	1.329	5,92	1.128
4,85	1.608	5,39	1.324	5,93	1.124
4,86	1.601	5,40	1.320	5,94	1.121
4,87	1.594	5,41	1.316	5,95	1.118
4,88	1.588	5,42	1.311	5,96	1.115
4,89	1.581	5,43	1.307	5,97	1.112
4,90	1.574	5,44	1.303	5,98	1.109
4,91	1.567	5,45	1.298	5,99	1.106
4,92	1.560	5,46	1.294	6,00	1.103
4,93	1.554	5,47	1.289	6,01	1.099
4,94	1.549	5,48	1.285	6,02	1.096
4,95	1.543	5,49	1.281	6,03	1.093
4,96	1.538	5,50	1.276	6,04	1.090
4,97	1.532	5,51	1.272	6,05	1.087
4,98	1.526	5,52	1.268	6,06	1.084
4,99	1.521	5,53	1.263	6,07	1.081
5,00	1.515	5,54	1.259	6,08	1.078
5,01	1.509	5,55	1.254	6,09	1.074
5,02	1.504	5,56	1.250	6,10	1.071
5,03	1.498	5,57	1.246	6,11	1.068
5,04	1.493	5,58	1.243	6,12	1.065
5,05	1.487	5,59	1.239	6,13	1.062
5,06	1.481	5,60	1.235	6,14	1.059
5,07	1.476	5,61	1.231	6,15	1.056
5,08	1.470	5,62	1.228	6,16	1.053
5,09	1.465	5,63	1.224	6,17	1.049
5,10	1.460	5,64	1.220	6,18	1.046
5,11	1.455	5,65	1.216	6,19	1.043
5,12	1.450	5,66	1.213	6,20	1.040
5,13	1.445	5,67	1.209	6,21	1.037
5,14	1.440	5,68	1.205	6,22	1.035
5,15	1.435	5,69	1.201	6,23	1.032
5,16	1.430	5,70	1.198	6,24	1.029
5,17	1.425	5,71	1.194	6,25	1.027
5,18	1.420	5,72	1.190	6,26	1.024
5,19	1.415	5,73	1.187	6,27	1.021
5,20	1.410	5,74	1.184	6,28	1.019
5,21	1.405	5,75	1.181	6,29	1.016
5,22	1.400	5,76	1.178	6,30	1.013
5,23	1.395	5,77	1.174	6,31	1.011
5,24	1.390	5,78	1.171	6,32	1.008
5,25	1.386	5,79	1.168	6,33	1.005
5,26	1.381	5,80	1.165	6,34	1.003
5,27	1.377	5,81	1.162	6,35	1.000
5,28	1.373	5,82	1.159	6,36	0.9975
5,29	1.368	5,83	1.156	6,37	0.9950
5,30	1.364	5,84	1.153	6,38	0.9925
5,31	1.359	5,85	1.149	6,39	0.9900
5,32	1.355	5,86	1.146	6,40	0.9875
5,33	1.351	5,87	1.143	6,41	0.9850

| ALTURA CONSTANTE |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 6,42             | 0.9825           | 6,96             | 0.8657           | 7,50             | 0.7750           |
| 6,43             | 0.9800           | 6,97             | 0.8638           | 7,51             | 0.7738           |
| 6,44             | 0.9775           | 6,98             | 0.8620           | 7,52             | 0.7725           |
| 6,45             | 0.9750           | 6,99             | 0.8600           | 7,53             | 0.7713           |
| 6,46             | 0.9725           | 7,00             | 0.8581           | 7,54             | 0.7700           |
| 6,47             | 0.9700           | 7,01             | 0.8563           | 7,55             | 0.7688           |
| 6,48             | 0.9675           | 7,02             | 0.8544           | 7,56             | 0.7675           |
| 6,49             | 0.9650           | 7,03             | 0.8525           | 7,57             | 0.7663           |
| 6,50             | 0.9625           | 7,04             | 0.8507           | 7,58             | 0.7660           |
| 6,51             | 0.9600           | 7,05             | 0.8488           | 7,59             | 0.7638           |
| 6,52             | 0.9581           | 7,06             | 0.8469           | 7,60             | 0.7625           |
| 6,53             | 0.9563           | 7,07             | 0.8450           | 7,61             | 0.7613           |
| 6,54             | 0.9544           | 7,08             | 0.8431           | 7,62             | 0.7600           |
| 6,55             | 0.9525           | 7,09             | 0.8413           | 7,63             | 0.7588           |
| 6,56             | 0.9507           | 7,10             | 0.8394           | 7,64             | 0.7575           |
| 6,57             | 0.9488           | 7,11             | 0.8376           |                  |                  |
| 6,58             | 0.9469           | 7,12             | 0.8357           |                  |                  |
| 6,59             | 0.9450           | 7,13             | 0.8338           |                  |                  |
| 6,60             | 0.9432           | 7,14             | 0.8320           |                  |                  |
| 6,61             | 0.9413           | 7,15             | 0.8300           |                  |                  |
| 6,62             | 0.9394           | 7,16             | 0.8288           |                  |                  |
| 6,63             | 0.9376           | 7,17             | 0.8275           |                  |                  |
| 6,64             | 0.9357           | 7,18             | 0.8263           |                  |                  |
| 6,65             | 0.9338           | 7,19             | 0.8250           |                  |                  |
| 6,66             | 0.9319           | 7,20             | 0.8238           |                  |                  |
| 6,67             | 0.9300           | 7,21             | 0.8225           |                  |                  |
| 6,68             | 0.9275           | 7,22             | 0.8213           |                  |                  |
| 6,69             | 0.9250           | 7,23             | 0.8200           |                  |                  |
| 6,70             | 0.9225           | 7,24             | 0.8188           |                  |                  |
| 6,71             | 0.9200           | 7,25             | 0.8175           |                  |                  |
| 6,72             | 0.9175           | 7,26             | 0.8163           |                  |                  |
| 6,73             | 0.9150           | 7,27             | 0.8150           |                  |                  |
| 6,74             | 0.9125           | 7,28             | 0.8138           |                  |                  |
| 6,75             | 0.9100           | 7,29             | 0.8125           |                  |                  |
| 6,76             | 0.9075           | 7,30             | 0.8130           |                  |                  |
| 6,77             | 0.9050           | 7,31             | 0.8100           |                  |                  |
| 6,78             | 0.9025           | 7,32             | 0.8080           |                  |                  |
| 6,79             | 0.9000           | 7,33             | 0.8060           |                  |                  |
| 6,80             | 0.8975           | 7,34             | 0.8040           |                  |                  |
| 6,81             | 0.8950           | 7,35             | 0.8020           |                  |                  |
| 6,82             | 0.8925           | 7,36             | 0.8000           |                  |                  |
| 6,83             | 0.8900           | 7,37             | 0.7980           |                  |                  |
| 6,84             | 0.8881           | 7,38             | 0.7960           |                  |                  |
| 6,85             | 0.8863           | 7,39             | 0.7940           |                  |                  |
| 6,86             | 0.8844           | 7,40             | 0.7920           |                  |                  |
| 6,87             | 0.8825           | 7,41             | 0.7900           |                  |                  |
| 6,88             | 0.8807           | 7,42             | 0.7880           |                  |                  |
| 6,89             | 0.8788           | 7,43             | 0.7860           |                  |                  |
| 6,90             | 0.8769           | 7,44             | 0.7840           |                  |                  |
| 6,91             | 0.8750           | 7,45             | 0.7820           |                  |                  |
| 6,92             | 0.8732           | 7,46             | 0.7800           |                  |                  |
| 6,93             | 0.8713           | 7,47             | 0.7788           |                  |                  |
| 6,94             | 0.8694           | 7,48             | 0.7775           |                  |                  |
| 6,95             | 0.8676           | 7,49             | 0.7763           |                  |                  |

## BIBLIOGRAFIA

- Pavimentación, Usos y Especificaciones, ASFALCHILE Mobil, ASFALCHILE S.A..
- “ASFALTOS” Manuel Velásquez Editorial Dossat S.A. 1961
- “Asfaltos Camineros”, DYNAMIC OIL S.A..
- “Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente” . Asphalt Institute (USA). Traducción del Instituto Chileno del Asfalto.
- Curso de Laboratorista Vial, Volumen II Asfalto, Laboratorio Nacional de Vialidad, Santiago de Chile, 1993.
- Especificaciones y métodos de muestreo y ensaye de la dirección de vialidad. Normas LNV, 1986.
- Especificaciones Técnicas Generales. Manual de Carreteras, Volumen 5, 1997.
- [www.ichasfalto.cl](http://www.ichasfalto.cl) / Instituto Chileno del Asfalto.
- [www.cpasfalto.org](http://www.cpasfalto.org) / Comisión Permanente del Asfalto, Argentina.
- [www.vialidad.cl](http://www.vialidad.cl) / Dirección Nacional de Vialidad