

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

Tesis de Grado

Previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL

Tema:

**“DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS
ASFALTICAS DRENANTES”**

Realizado por:

ABUHAJAR VERA JAMIL JACOBO

Director:

Ing. PAOLA CARVAJAL AYALA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2010

TESIS DE GRADO

Tema:

**“DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS
ASFALTICAS DRENANTES”**

Presentado a la Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil de la
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

Por:

ABUHAJAR VERA JAMIL JACOBO

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar el título de:

INGENIERO CIVIL

Tribunal de sustentación:

Ing. Paola Carvajal Ayala. M.Sc
DIRECTOR DE TRABAJO DE TESIS

Dr. Ing. Walter Mera Ortiz
DECANO DE LA FACULTAD

Ing. Lilia Valarezo de Pareja
DIRECTORA DE LA ESCUELA

DR. Ing. Walter Mera Ortiz.
DECANO DE LA FACULTAD

Ing. Lilia Valarezo de Pareja, M.Sc.
DIRECTORA DE ESCUELA

AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo de grado, realizado en estos meses, lo eh logrado realizar gracias a la ayuda de mi Directora la Ing. Paola Carvajal, al profesor invitado el Ing. Gustavo García, al Ing. Cesar Palacios, al Ing. Javier Berrezueta y al Ing. Federico von Buchwald; que incondicionalmente estuvieron presentes en el momento indicado.

Gracias al apoyo del Ing. Boanerges De La Pared, que de manera incondicional colaboró con su laboratorio para realizar los ensayos.

DEDICATORIA

Este arduo trabajo de investigación y análisis, lo dedico primero a Dios que me permitió cumplir con mis metas fijadas, a mi familia que siempre estuvieron apoyándome en todos estos años de mi vida, a mis profesores, colegas y amigos, que siempre estuvieron presentes en cada uno de estos momentos que estuvimos juntos.

Una etapa de mi vida ha terminado, y debo dar gracias a mis papas que los quiero mucho, que siempre están presentes y llenan mi corazón; A mis hermanos y hermanas que me dieron su apoyo en cada momento.

A mi papa Miguel Abuhayar y mi hermano Michel Abuhayar, a LICOSA que me encaminaron en esta linda y completa carrera marcan cada día de mi vida.

INDICE:

CAPITULO 1..... 5

INTRODUCCIÓN 5

1.-ANTECEDENTES: 5

1.1.-SISTEMA VIAL ESTATAL..... 5

CAPITULO 2..... 8

EL ASFALTO. 8

2.- QUE ES EL ASFALTO? 8

2.1.-EL ASFALTO ES UN MATERIAL TERMO -VISCO-PLASTO-ELÁSTICO..... 8

**2.2.-PRINCIPALES PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS CEMENTOS
ASFÁLTICOS 8**

2.3.-OBJETO O FINALIDAD DE MODIFICAR UN ASFALTO. 10

2.4.- CURVA VISCOSIDAD- TEMPERATURA 10

CAPITULO 3..... 13

MEZCLAS ASFALTICAS DRENANTES 13

3.1.-QUE SON LOS ASFALTOS DRENANTES? 13

3.2.-CUALES SON LOS USOS DEL ASFALTO DRENANTE?..... 13

3.3.-APLICACIÓN SEGÚN EL TRÁFICO MEDIANTE EJES EQUIVALENTES:..... 14

3.4.-VENTAJAS: 15

3.5.-LIMITACIONES..... 16

CAPITULO 4..... 18

METODOS DE DISEÑO	18
4.-DESCRIPCION DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO	18
4.1.-EL METODO AUSTRALIANO	19
4.1.2.-CONTENIDO DE ASFALTO	20
4.2.-CANTABRO (ORIGEN ESPAÑA)	25
4.2.1.-CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS DE LOS MATERIALES.....	26
4.2.2.-TOLERANCIAS:.....	26
4.2.3.-CURVA GRANULOMETRICA.....	26
4.3.- METODO RP CHILE	27
4.3.1.- COMO NACE EL METODO RP.....	27
4.3.2.-EXPERIENCIA CHILENA CON EL METODO RP	28
4.3.3.-MEZCLAS ABIERTAS COMO CAPA DE ALIVIO DE FISURAS.....	29
CAPITULO 5	31
DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA DRENANTE	31
5.-MATERIALES UTILIZADOS	31
5.1.-GRANULOMETRIA EMPLEADA	32
5.2.- PORCENTAJE DE ASFALTO:	32
5.2.1.-TIPOS DE POLIMEROS A USAR	33
5.3.- PRUEBAS REALIZADAS	33
5.3.1.-Cálculo de porcentajes de vacíos.	35
5.3.2.-Cálculo de desgaste Método Cántabro (NLT-352/00).....	35
5.3.3.-Cálculo de desgaste Método Cántabro – efecto del agua – (NLT-362/92)	38
5.4.- ANALISIS DE COSTO.	40
5.5.-CONCLUSIONES.	40

CAPITULO 6..... 42

SISTEMA CONSTRUCTIVO 42

6.-DESCRIBIR LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS..... 42

6.1.-TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN42

6.2.-EQUIPOS DE TENDIDO O PAVIMENTACION.42

6.3.-EQUIPO DE COMPACTACION43

CAPITULO 7..... 45

ANEXOS 45

CAPITULO 8..... 47

BIBLIOGRAFIA 47

8.1.-BIBLIOGRAFIA: 47

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.-ANTECEDENTES:

El Ecuador, consta de un anillo vial de longitud 43.197,37km¹ los cuales están clasificados según categoría de camino como se muestra continuación.

Tabla 1: Datos obtenidos de pág. web de e-asphalt.com

RED VIAL NACIONAL SEGUN CATEGORIA DE CAMINO		
CLASIFICACION DE CAMINOS	LONGITUD KM.	% TOTAL DE LA RED
CAMINOS PRIMARIOS	5.608.84	12.98
CAMINOS SECUNDARIOS	3.876.42	8.97
CAMINOS TERCARIOS	11.105.93	25.71
CAMINOS VECINALES	22.153.98	51.29
CAMINOS LOCALES	452.20	1.05
TOTAL	43.197.37	100.0

1.1.-SISTEMA VIAL ESTATAL

Sin los caminos locales, la longitud total de la red se aproxima a los 42.800 km, la mayor extensión se encuentra en la Sierra, la región interandina del País, una de las cuatro en las que se divide el Ecuador.

El 12 % de la totalidad de esta red está pavimentada y el 57% con superficie de rodadura afirmada; asegurando entre ambos la movilización continua durante a lo largo de todo el año entre las regiones del país. Sin embargo, se mantiene algo más de la cuarta parte de la red

¹ Datos registrados en el año 1997.según <http://www.e-asfalto.com/go/?redviaecuador/index.htm>.

como caminos de tierra, presentando condiciones precarias y que no aseguran condiciones adecuadas de seguridad. La mayor parte pertenece a caminos terciarios y vecinales.

Teniendo como un tema prioritario en la actualidad del país, mejorar las condiciones de seguridad vial, se ha analizado el estudiar el comportamiento de las definidas como “mezclas porosas”, que son una modificación de las mezclas asfálticas de tipo abiertas, que fueron inventadas entre los años 1930 y 1940.

Estas mezclas (porosas) han sido en los EE.UU utilizadas:

Comúnmente en los estacionamientos, senderos, y especial mente en carreteras.

Como Mezcla Abierta (Open Grade Friction Course) o Asfaltos Porosos- común en Florida, Orlando, California, Texas.

En Europa:

Dinamarca, Bélgica, Gran Bretaña, Suecia, Francia, Suiza, Italia, España, Grecia,

Japón, Australia, Canadá, Sudáfrica, Malasia

Ecuador es el cuarto país en el mundo y el segundo en América Latina, en donde los accidentes de tránsito se convierten en la principal causa de muerte, según un informe de Justicia Vial.

Las estadísticas de accidentes de tránsito en el Ecuador, según fuentes del INEC, en el año 2007, se tuvo un total de 13.882 víctimas de las cuales 1.848 son por muertes, 11.629 son Heridos, y 405 traumáticos, siendo las provincias con mayor accidente Pichincha y Guayas, respectivamente.

CAPITULO 2

EL ASFALTO.

CAPITULO 2

EL ASFALTO.

2.- QUE ES EL ASFALTO?

El asfalto es un material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras, autovías o autopistas. También es utilizado en impermeabilizantes. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de bitumen. Su nombre recuerda el Lago Asfaltites (el Mar Muerto), en la cuenca del río Jordán.

Al igual que el petróleo crudo, el asfalto, es una mezcla de numerosos hidrocarburos parafínicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos que contienen azufre, nitrógeno y oxígeno; casi en su totalidad solubles en sulfuro de carbono. La mayoría de los hidrocarburos livianos se eliminan durante el proceso de refinación, quedando los más pesados y de moléculas complejas.

Los principales componentes de los asfaltos son los asfaltenos, maltenos y resinas.

2.1.-EL ASFALTO ES UN MATERIAL TERMO -VISCO-PLASTO-ELÁSTICO

La complejidad del flujo del asfalto es impartida a la mezcla asfáltica, el módulo resultante es variable con las condiciones del clima y la velocidad de cargas. La variación anual del módulo del asfalto es elevada y tiene incidencia en la vida útil del pavimento. De allí la importancia de su conocimiento y control

2.2.-PRINCIPALES PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS

- PESO ESPECÍFICO. Este ensaye se efectúa para ubicar las correlaciones necesarias de peso a volumen, varía con la temperatura, o al adicionarle algún otro material; regularmente el asfalto presenta una densidad mayor que el agua.
- SOLUBILIDAD TRICLOROETILENO. Este método sirve para detectar impurezas o materiales extraños que presente el asfalto, o bien algún elemento que no sea soluble al asfalto.

- PUNTO DE INFLAMACIÓN. Es una prueba de seguridad que se realiza para conocer a que temperatura provoca flama el material asfáltico.

- PUNTO DE REBLANDECIMIENTO. Por el método del anillo y la esfera, nos proporciona una medida a la resistencia del material al cambio de sus propiedades de acuerdo a su temperatura.

- PENETRACIÓN A 25° C. Con esta prueba se determina la dureza que presentan los diferentes tipos de asfalto; de acuerdo a la dureza nos indica de qué tipo de cemento se trata.

- DUCTILIDAD A 25° C. Mide el alargamiento que presenta el asfalto sin romperse, la longitud del hilo de material se mide cuando se corta en cm, este ensayo además de indicarnos el tipo de asfalto nos da la edad del mismo; ya que si se rompe a valores menores a los establecidos nos indica que es un asfalto viejo y que ha perdido sus características, por consecuencia puede provocar grietas en la carpeta ("cemento asfáltico crackeado" viejo.)

- VISCOSIDAD SAYBOL FUROL. Nos ayuda a conocer la temperatura en la cual el asfalto es de fácil manejo. En esta prueba se mide el tiempo que tardan en pasar 60 cm³ de asfalto por un orificio de diámetro aproximadamente igual a 1 mm, este ensaye se efectúa a temperaturas que van de los 60 a los 135° C dependiendo del tipo de asfalto de que se trate.

- VISCOSIDAD ABSOLUTA A 60° C. Con esta prueba se clasifica el cemento. Consiste en hacer pasar hacia arriba el asfalto dentro de un tubo capilar bajo condiciones controladas de vacío y temperatura, el resultado se calcula de acuerdo al tiempo que tarda en pasar el asfalto de un punto a otro dentro del tubo, este tiempo se multiplica por una constante del equipo usado y la unidad que se maneja es el "poise" que es una fuerza de 1gr/cm² y de acuerdo con la viscosidad que presente se clasifican los asfaltos.

- VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 135° C. Con esta prueba se mide el tiempo en que un volumen de asfalto fluye a través de un viscosímetro capilar, de un orificio determinado. El tiempo se multiplica por un factor de calibración del viscosímetro, la unidad que emplea es el "centistokes". Esta unidad se basa en

las relaciones de densidad de un líquido a la temperatura de prueba representada en $1\text{gr}/\text{cm}^3$.

- PERDIDA POR CALENTAMIENTO. También llamada prueba de la película delgada; esta prueba estima el endurecimiento que sufren los asfaltos después de calentarse a temperaturas extremas (163°C) además nos determina los cambios que sufre el material durante el transporte, almacenamiento, calentamiento, elaboración y tendido de mezcla. Se efectúa en películas de pequeño espesor que se someten a los efectos del calor y el aire, con ellos se evalúa el endurecimiento que presenta y la pérdida de sus propiedades; después de efectuado este ensayo se efectúan pruebas de viscosidad, ductilidad, penetración y pérdida de peso.

2.3.-OBJETO O FINALIDAD DE MODIFICAR UN ASFALTO.

La finalidad de modificar a los asfaltos es la de mejorar sus propiedades para que presente un mejor comportamiento a los cambios climáticos y de temperatura. Además los hace más resistentes al envejecimiento, aumenta la capacidad de carga y de soporte, mejoran las condiciones de elasticidad, flexibilidad, cohesión y viscosidad, lo cual redundará en **una mayor vida útil** y en la **disminución del espesor de la carpeta**. El cemento asfáltico, para modificarlo se puede mezclar con materiales del tipo SBS (estireno butadieno-estireno), SBR (estireno butadieno-hule), productos EVA (productos termoplásticos) además de poliestirenos y podolefinas. Otro producto que también se emplea para darle mayor dureza es el hule molido de neumáticos y en algunas ocasiones la escoria de fundición.

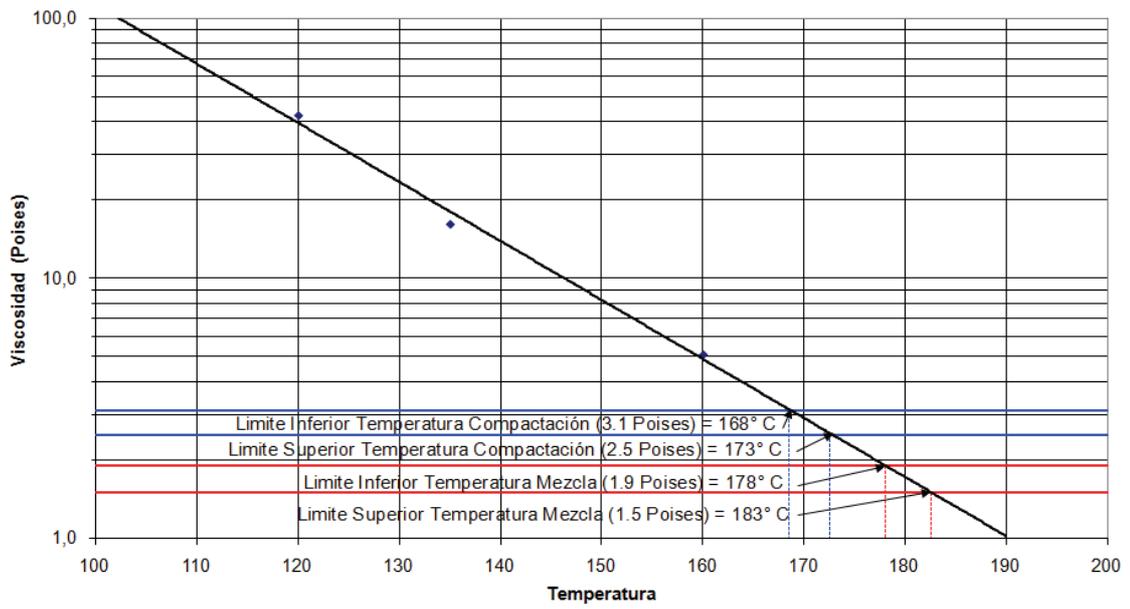


Ilustración 1: Viscosímetro digital Brookfield.

2.4.- CURVA VISCOSIDAD- TEMPERATURA

Mediante la norma mexicana M-MMP-4-05-005-02 que se anexa al trabajo, se utilizó el viscosímetro rotacional (RTV) el cual caracteriza la rigidez del asfalto a 135°C , temperatura a la cual actúa casi enteramente como fluido. Consiste en un cilindro rotacional coaxial, que mide la viscosidad por medio del torque requerido para rotar un eje, sumergido en una muestra de asfalto caliente, a una velocidad constante. La especificación de ligantes requiere una viscosidad menor de 3 Pascales por Segundo ($\text{Pa}\cdot\text{S}$). Esto garantiza un asfalto bombeable y manejable durante la elaboración de la mezcla.

Mediante la determinación de esta curva podemos obtener cuáles son nuestras temperaturas de mezclado y de compactación.



Diagramas 1: Curva Viscosidad - Temperatura

CAPITULO 3

MEZCLAS ASFALTICAS DRENANTES

CAPITULO 3

MEZCLAS ASFALTICAS DRENANTES

3.1.-QUE SON LOS ASFALTOS DRENANTES?



Ilustración 2: Estructura y funcionamiento de los asfaltos drenantes.

Los asfaltos drenantes o también llamadas mezclas porosas, son mezclas asfálticas caracterizadas por tener una curva granulométrica abierta, excluyendo los finos, para así poder aumentar sus vacíos entre cada agregado, permitiendo el flujo del agua hacia su punto de pendiente más bajo.

Las mezclas drenantes nacieron en España, en el año 1940, y siendo también desarrolladas en

los Estados Unidos.

3.2.-CUALES SON LOS USOS DEL ASFALTO DRENANTE?

Existen distintos tipos de asfaltos drenantes, e incluso por sus distintos nombres en inglés al traducirlo suelen crear confusión.

- **Mezcla Abierta (Open Grade Friction Course):** Es un tipo de mezcla asfáltica abierta, que se coloca como capa de rodadura sobre una estructura completa ya sea de Hormigón Rígido o de Mezcla asfáltica densa; donde al colocar esta última capa de rodadura mediante la pendiente o caída que se le dé, permitirá la evacuación del agua hacia los laterales de la vía (espaldones o canal de drenaje). Sin dar aporte estructural al diseño en conjunto.



- **Asfaltos porosos:** Es un tipo de mezcla asfáltica drenantes, que funciona en un conjunto de estructuras drenantes permitiendo la infiltración del agua hasta la subrasante, eh incluso puede permitir la recuperación del agua, colocando un sistema de capas de geotextil en conjunto con drenes. Este tipo de mezcla es muy común para zonas de parqueo, zonas de carga y descarga, zonas de bajo tráfico.

Ilustración 3: Diferencia entre las distintos tipos de mezcla

En la Ilustración 2; Vemos los distintos tipos de mezcla asfáltica, como son las mezclas densas, mostradas como convencionales, las SMA, Stone Matrix Asphalt, traducidas al español “Mezclas de matriz de piedra” y las mezclas drenantes, que dedicamos este estudio.

3.3.-APLICACIÓN SEGÚN EL TRÁFICO MEDIANTE EJES EQUIVALENTES:

2

Capa	Trafico Bajo (<300.000 ESALs)				Trafico Medio (300.000 - 10 millones ESALs)				Trafico Alto (> 10 millones ESALs)			
	Denso	MMP	AD	BPA	Denso	MMP	AD	BPA	Denso	MMP	AD	BPA
	Capa de rodadura	●				●	○	○		●	●	●
Intermedio	●				●				●	○		
Base	●				●			○	●			●

Denso
MMP=Mezcla de matriz de piedra
AD= Asfaltos Drenantes
BPA= Bases permeables tratadas con asfalto

● Apropiado
○ Moderadamente Apropiado
□ No Apropiado

Tabla 2: Aplicación según el trafico mediante ejes equivalente.

² http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/02_pavement_types/02-3_body.htm

3.4.-VENTAJAS:

- **Se obtiene una mayor resistencia al deslizamiento bajo lluvia y se elimina o reduce el fenómeno de hidroplaneo (acuaplaning).** Al presentarse el fenómeno de hidroplaneo se produce una pérdida total del control sobre la dirección del vehículo, al existir una película de agua entre los neumáticos y la capa de rodadura. La capacidad de la mezcla para mantener el pavimento libre de agua depende de su capacidad permeable y su espesor.

Cuando hay una película de agua sobre la vía la disminución de la adherencia entre el neumático y la carpeta de rodadura es considerable, con lo que aumentan los riesgos de accidentes.

Las mezclas drenantes producen una mejora en estos casos, debido a que:

- Aumenta la macrotextura del pavimento.
- Eliminan el agua de la superficie del pavimento

- **Elevada resistencia al deslizamiento a altas velocidades.** En las mezclas asfálticas drenantes los parámetros de macrotextura obtenidos son siempre altos, por lo cual la pérdida de resistencia al deslizamiento con la velocidad depende fundamentalmente de la macrotextura de la superficie de rodadura.

- **Reducción del agua dispersada por el paso de los vehículos.** La seguridad y la comodidad del conductor se ve afectada en tiempo de lluvia por el agua dispersada por los vehículos, especialmente por los camiones y volquetas que no poseen guarda fangos, disminuyendo o afectando la visibilidad y las maniobras de adelantamiento. De forma espectacular las mezclas drenantes disminuyen de forma radical estas dispersiones, hasta prácticamente eliminarlas, incluso bajo lluvias intensas y prolongadas.

- **Mejora la visibilidad con la capa de rodadura mojada.** En pavimentos convencionales mojados y sobre superficies de macrotextura lisa se produce la reflexión de la luz de los vehículos que circulan en sentido contrario durante la noche, presentándose el deslumbramiento de los conductores. Al eliminarse la película de agua con las mezclas drenantes y dotar la rodadura de una macrotextura rugosa se reduce la reflexión de la luz de los vehículos y se mejora la visibilidad de las marcas viales.

- **Adecuado comportamiento mecánico.** Pese a la baja estabilidad de estas mezclas drenantes, la cohesión y el comportamiento interno del sustrato mineral evitan que se presenten problemas de deformaciones plásticas durante la vida útil con espesores habituales de 3 y 5 cm. La cohesión proporcionada por el ligante y la fracción del agregado fino mantienen la unión del agregado en la mezcla e impiden que se produzca desgaste y pérdidas del agregado grueso. La experiencia en España ha demostrado que no existen problemas de degradación debidos a la acción del agua o del envejecimiento del ligante, y su durabilidad también es óptima.

- **Pavimentos de rodadura cómoda y silenciosa.** En los pavimentos drenantes la macrotextura se obtiene mediante la formación de concavidades, generando menor ruido de

rodadura, similar a la que se produce con un pavimento de macrotextura lisa. Por otro lado la presencia de poros transforman la capa de rodadura en un material absorbente que ayuda a disminuir el ruido total producido por la circulación de los vehículos.

3.5.-LIMITACIONES

- **Perdida de la permeabilidad en el tiempo.** Ocasionada por la acción del tráfico, el polvo, suciedad, derrumbes del material sobre la vía, etc., se puede presentar disminución en la permeabilidad lo que puede suponer una pérdida parcial de sus propiedades iniciales para las cuales esta mezcla es diseñada.

El diseño de mezclas drenantes con contenido de vacíos altos, el uso de agregados redondeados con fracturas en más de dos caras y alta resistencia al desgaste, ayuda a evitar que se produzca la colmatación de los poros.

- **Disminución de la resistencia por la acción de los disolventes y derivados del petróleo.** Este problema puede localizarse únicamente en aquellos puntos donde se puedan producir vertidos (pendientes fuertes, estacionamientos, etc.)

- **Requerimiento de un soporte adecuado.** En una capa de rodadura, la mezcla asfáltica drenantes necesita apoyarse sobre una base firme y estructuralmente adecuada, además, esta debe cumplir con excelentes especificaciones geométricas y ser completamente impermeable, lo cual permite un excelente drenaje de la carpeta.

CAPITULO 4

METODOS DE DISEÑO

CAPITULO 4

METODOS DE DISEÑO

4.-DESCRIPCION DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO

Los requerimientos de seguridad al tránsito exigidos hoy en día a las superficies de rodamiento, han llevado a desarrollar materiales con características diferentes a las ya conocidas. La Mezcla Asfáltica Drenantes (MAD) o Mezcla Asfáltica Porosa (MAP), es un material que ha sido desarrollado en esta línea de pensamiento.

Se trata de mezclas asfálticas que se caracterizan por tener un elevado porcentaje de huecos interconectados entre sí (16 a 25% o más, dependiendo del uso, cabe destacar que no solo son usadas como superficie de rodamiento, en especificaciones como las Chilenas están contempladas como capa de alivio de fisuras). Estos huecos permiten el paso del agua a través de la misma, favoreciendo su eliminación en la superficie del camino, y presentando una alta macrotextura y micro textura, ésta última como consecuencia de la calidad de los áridos usados.

Existen diferentes métodos de diseño. La particular estructura interna en estas mezclas, ha llevado a desarrollar ensayos que ayudan a evaluar su comportamiento. Además, en este tipo de mezclas la energía de compactación necesaria para lograr la compacidad en obra es menor que en las mezclas convencionales, razón por la cual se evalúa para qué energía de compactación se alcanza la máxima densidad en la metodología Marshall.

Las metodologías normalmente utilizadas son:

- CANTABRO (Origen ESPAÑA)
- AUSTRALIANA (Open Graded Asphalt Design Guide, originada en la Australian Asphalt Pavement Association)
- RP (Origen CHILE)
- TRACCIÓN INDIRECTA (Origen BRASIL)³

³ **DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE LIGANTE OPTIMO, EN MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS**
O. Rebollo; R. González y G. Botasso

Las metodologías conocidas como cántabro y australiana, muy utilizadas, plantean para la obtención de una mezcla conforme a las exigencias, la realización de numerosos especímenes. Las de RP y de Tracción Indirecta, en cambio, son metodologías más sencillas, la primera basada en la obtención de un esfuerzo de penetración y la segunda por un esfuerzo de tracción por compresión diametral.

Es de interés estudiar estas metodológicas de dosificación, con el fin de obtener una segura y rápida dosificación para mezclas drenantes, como lo ha sido la metodología Marshall para las mezclas tradicionales, teniendo presente que en este caso se está en presencia de curvas granulométricas discontinuas las que generan un esqueleto abierto. Serán entonces necesarios otros tipos de ensayos que ayuden a evaluar el comportamiento de la mezcla.

4.1.-EL METODO AUSTRALIANO

- Agregado. Uso de alta calidad, resistente, con buenas características de fricción. Se recomienda que los agregados de carbonato relativamente puro o de los agregados conocidos por pulirse son excluidos de la fracción de árido grueso. La fracción de agregado grueso debe tener al menos un 75 por ciento en peso de partículas con al menos dos caras de fractura y la pérdida de abrasión (AASHTO T 96) no debería superar el 40 por ciento.
- Relleno mineral. Se especifica en AASHTO M 17.
- Granulometría es la siguiente:

TAMIZ	% PASANTE (peso)
½"	100
3/8"	95-100
#4	30-50
#8	5-15
#200	2-5

- Cemento asfáltico. El grado recomendado es de cemento asfáltico AC-20, AASHTO M 226. Otros grados de asfalto debe ser considerado cuando las condiciones locales indican una necesidad o cuando una mejora del rendimiento puede lograrse.
- Aditivos de asfalto. Los aditivos pueden ser necesarios para mejorar las propiedades de la carpeta asfáltica, ya que estos retrasan la oxidación (envejecimiento) y/o mejoran la sensibilidad de la temperatura. Aditivos utilizados habitualmente en carretera debe ser aceptable para mezclas abiertas. Los aditivos que no hayan sido previamente utilizados deben considerarse las características experimentales y examinar sus consecuencias. En cualquier situación, todos los aditivos necesarios para la mezcla deben incorporarse en el diseño de la mezcla.

4.1.2.-CONTENIDO DE ASFALTO

Procedimientos para conocer el contenido de asfalto:

1.- Capacidad superficial. Determine la capacidad superficial de la fracción agregada predominante de acuerdo con el procedimiento siguiente (AASHTO T 270):

1.1.- Cuartee hacia fuera una muestra de 105 gramos del agregado predominante. Seque la muestra en una placa caliente o en un horno ($110 \pm 9^\circ\text{C}$) hasta tener un peso constante y dejar que la muestra se refresque a la temperatura ambiente.

1.2.- Reduzca la muestra a aproximadamente 100.0 gramos (medidos a 0.1 gramos) y coloque y tamice la muestra (tamiz N. 10) sujetado el tamiz. El tamaño del tamiz es de diámetro superior a 3-1/2 pulgadas, altura 4-1/2", orificio de 1/2".

1.3.- Sumerja totalmente el espécimen en el S.A.E. 10 aceite lubricante por 5 minutos a una temperatura ambiente. Si se está utilizando el agregado altamente absorbente, sumerja el espécimen por 30 minutos.

1.4.- Drene la muestra en el tamiz por 2 minutos. Coloque el embudo que contiene la muestra en un horno ($140 \pm 5^\circ\text{F}$) por 15 minutos de drenaje adicional.

1.5.- Vierta la muestra del embudo en una cacerola destarada, refrésquese a la temperatura ambiente, y pese de nuevo la muestra a los 0.1 gramos más cercano.

1.6.- Compute el ciento de los aceites conservado (POR) con la ecuación siguiente:

$$\text{POR} = \frac{\text{SG a}}{2.65} \times \frac{(\text{BA})}{\text{A}} \times 100$$

Donde SGA gravedad específica = aparente del agregado predominante

A = peso seco de la muestra secada en Horno.

B = cubrió el peso de la muestra.

POR=% de aceite conservado.

1.7.- Cuando usar el procedimiento para el agregado altamente absorbente, después de determinar el (POR), vierte la muestra sobre un paño absorbente seco limpio y obtiene una condición seca superficial saturada.

1.8.- Vierta la muestra del paño en una cacerola y pese de nuevo la muestra a los 0.1 gramos más cercano.

1.9.- Compute el ciento de los aceites absorbidos (Poa) con la ecuación siguiente:

$$\text{Poa} = \frac{(c-a)}{a} \times 100$$

Donde a = peso seco de la muestra.

C = peso seco superficial saturado de la muestra

Poa=% aceite absorbido.

Determine el aceite (libre) de los por ciento conservado (PORA) usando la ecuación siguiente:

$$PORA = POR - POA$$

1.10.- Compute el valor constante superficial (k_c) para el agregado predominante usando la ecuación siguiente o utilice el cuadro 1 abajo:

$$K_c = 0.1 + 0.4 (\text{por})$$

Al usar el procedimiento para el agregado altamente absorbente, la ecuación para la k_{ca} . El valor es:

$$K_{ca} = 0.1 + 0.4 (PORA)$$

2.- Contenido del asfalto. Compute el contenido requerido del asfalto (CAJMF) cuál se basa en el peso del agregado de la ecuación siguiente. El contenido del asfalto computado de esta fórmula es igual sin importar el grado o la viscosidad del asfalto.

$$CAJMF = (2 (K_c) + 4.0) \times \frac{2.65}{SG_a}$$

Al usar el procedimiento para el agregado altamente absorbente, determine el contenido requerido del asfalto (CAJMF) como sigue:

Compute el contenido de asfalto efectivo (CAEFF) de la ecuación siguiente:

$$CAEFF = (2 (k_{ca}) + 4.0) \times \frac{2.65}{sg_a}$$

Entonces continúa con la disuasión del contenido del asfalto como sigue:

Prepare una mezcla de ensayo usando un igual del contenido del asfalto o algo mayor (la cantidad de la estimación que será absorbida) que el contenido eficaz del asfalto (CAEFF) determinado arriba y con la gradación agregada según lo determinado en la sección 5.2.

Con una técnica conveniente, tal como la prueba para la gravedad específica máxima de las mezclas del asfalto (AASHTO t 209), determine la cantidad real de asfalto absorbida (en porcentaje, basado en el peso total del agregado).

Determine el contenido del asfalto de JMF (CAJMF) de la mezcla absorbente usando la ecuación siguiente:

$$CAJMF = CAEFF + \text{asfalto real absorbido}$$

3.- Capacidad vacía del agregado grueso

3.1 Peso de unidad. Determine el peso de unidad de la fracción agregada gruesa del JMF propuesto por cualquiera de los procedimientos siguientes (FHWA-RD-72-43 o ASTM D 4253 modificado).

3.1.1 Aparato

Molde de la compactación. - Un cilindro de metal de pared con diámetro de 6 pulgadas con una placa con base metálica desmontable. Una barra desmontable de la guía-referencia de metal.

Compresor vibratorio

Pisón del método 1. - Un pisón que vibra electromagnético portable según las indicaciones del cuadro 3, teniendo una frecuencia de 3.600 ciclos al minuto, conveniente para el uso con la corriente alterna 115 voltios. El pisón tendrá un pie y una extensión del pisón.

Base de madera. - Un disco del chapeado 15 pulgadas de diámetro, 2 pulgadas de grueso, con un amortiguador (manguera de goma) unido al fondo.

El disco será construido así que puede ser unido firmemente al embase del molde de la compactación.

Tabla que vibra (experimental) . - Una tabla que vibra capaz de inducir una fuerza vibratoria a la muestra en 3.600 ciclos al minuto y en una amplitud de (0.013 + 0.002 pulgadas).

Carga confinada. - Un disco de acero circular que pesa 50 libras con un diámetro de 5 7/8 pulgada.

Contador de tiempo. - El cronómetro o el otro dispositivo de la sincronización graduó en divisiones de 1.0 segundos y exacto a 1.0 segundos, y capaz de medir el tiempo de la unidad por hasta 2 minutos. Un dispositivo eléctrico de la sincronización o los circuitos eléctricos para encender y para parar el compresor vibratorio puede ser utilizado.

Indicador del dial - un indicador del dial graduó en 0.001 pulgadas con un radio de acción del recorrido de 3.0 pulgadas.

4.1.2 Muestra. Seleccione una muestra de la fracción agregada gruesa (approx.5 libra.) del JMF propuesto según lo verificado en la sección 2.1. Si la gravedad específica a granel del agregado grueso es menos de 2.0, reduzca el tamaño de la muestra a aproximadamente 3.5 libras. Pese la muestra a las 0.1 libras más cercana.

4.1.3 Procedimiento

Método 1. Vierta la muestra seleccionada en el molde de la compactación y ponga el pie del pisón en la muestra. Coloque la barra de la guía-referencia sobre el eje del pie del pisón y asegure la barra al molde con los tornillos de pulgar.

Coloque el pisón vibratorio en el eje del pie del pisón y vibre por 15 segundos. Durante el período de la vibración, el operador debe ejercer la presión bastante en el martillo al contacto principal entre la muestra y el pie del pisón.

Quite el pisón vibratorio del eje del pie del pisón y cepille cualquier multa de la tapa del pie del pisón. Mida el grueso (t) del material condensado a las 0.01 pulgadas más cercana.

Método 2. (Experimental) vierta la muestra seleccionada en el molde de la compactación y coloque el embase de la sobrecarga en la muestra.

Baje el peso de la sobrecarga sobre el embase de la sobrecarga y vibre a asamblea por 2 minutos.

Quite el peso de la sobrecarga y cepille cualquier multa de la tapa del embase de la sobrecarga. Mida el grueso (t) del material condensado a las 0.01 pulgadas más cercana.

4.1.4 Cálculo. Calcule el peso de unidad vibrado (x) (en libras por pies cúbicos) como sigue:

$$X = \frac{6912 W}{\pi d^2 t}$$

Donde

W = peso de la fracción agregada gruesa (libras)
 d = diámetro del molde de la compactación (pulgadas)
 t = grueso del espécimen condensado (pulgadas)

4.2 Capacidad vacía. Determine la capacidad vacía del agregado grueso (VCA) como por ciento de volumen total usando la ecuación siguiente:

$$VCA = \left(1 - \frac{X}{U_c}\right) \times 100$$

Donde

X = peso de unidad vibrado del paso 4.1.4
 U_c = abulta el peso de unidad sólido seco de la fracción agregada gruesa (pcf).

Contenido óptimo del agregado fino

5.1 Compute el contenido óptimo del agregado fino con la relación siguiente:

$$Y = \frac{VCA - V - \frac{(AC_{JMF})(X)}{U_a}}{\frac{(VCA - V)}{100} + \frac{X}{U_f}}$$

Donde

Y = por ciento del agregado fino en peso del agregado total
 VCA = vacíos en el agregado grueso (por ciento)
 V = los por ciento del diseño ventila vacíos = 15.0 por ciento
 CAJMF = contenido del asfalto para el JMF (por ciento en peso del agregado) [AL USAR EL PROCEDIMIENTO PARA EL AGREGADO ALTAMENTE ABSORBENTE, CA del USOEFF, NO CAJMF.
 X = vibró el peso de unidad del agregado grueso (el pcf)
 U_a = peso de unidad de cemento del asfalto (pcf)
 U_f = abulta el peso de unidad sólido seco del agregado fino (el pcf)

5.2 Compare el contenido óptimo del agregado fino (y) determinado en la sección 5.1 a la cantidad que pasa el tamiz de no del JMF propuesto. Si estos valores diferencian por más de 1 punto del porcentaje, revise el JMF usando el valor determinado para el contenido óptimo del agregado fino. Si las gradaciones propuestas y revisadas de JMF son perceptiblemente diferentes, puede ser necesario volver a efectuar porciones de este procedimiento.

6.0 Temperatura óptima de mezclado:

Prepare una muestra del agregado (aproximadamente 1000 gramos en las proporciones. Mezcle esta muestra con el cemento asfáltico obtenido en (CAJMF) a una temperatura de mezclado que corresponda a una viscosidad del asfalto de 800 centistokes. Cuando el agregado está totalmente revestido, transfiera la mezcla a una placa de cristal del pyrex (8-9 pulg. diámetro) y separando la mezcla con el mínimo de manipulación. Coloque la placa con la muestra en el horno a la temperatura que se mezclo. Observe el fondo de la placa después de 60 minutos. Un charco leve del cemento del asfalto en los puntos del contacto entre la placa agregada y de cristal, según las indicaciones de la ilustración 3 .Si no, repita la prueba en una temperatura más alta o más baja para alcanzar el área de contacto deseada. Si el drenaje del asfalto ocurre a una temperatura de mezcla que sea demasiado baja prever la sequedad adecuada del agregado (típicamente no más bajo que 110°C), un asfalto de una viscosidad más alta debe ser utilizado.

Una observación intermedia de la placa se puede hacer en 15 minutos. Si hay excesivo escurrimiento en los puntos de contacto, la muestra puede ser desechada y repetir la prueba a una temperatura más baja.

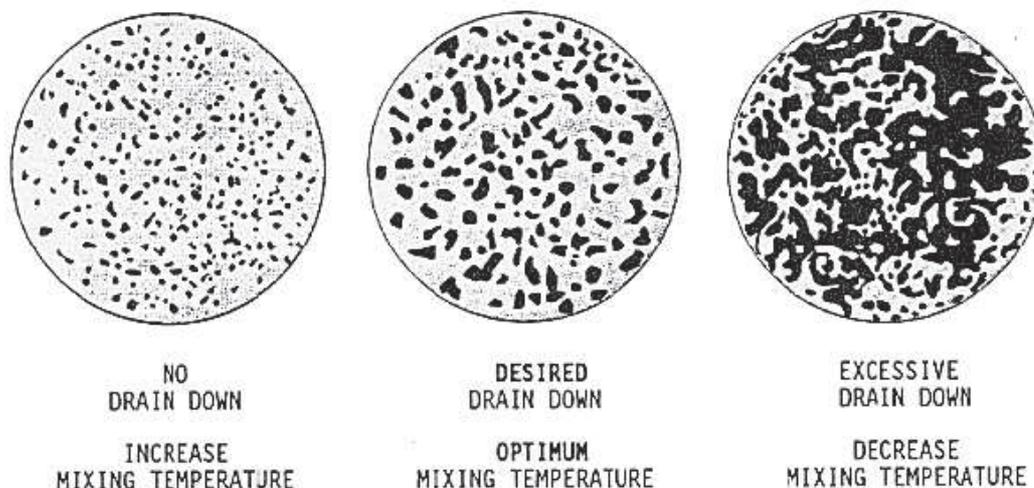


Ilustración 4: Características del Escurrimiento.

7.0 Resistencia a los efectos del agua

La prueba de Inmersión-Compresión (AASHTO T 165 y T 167) para la mezcla diseñada. Prepare las muestras a la temperatura de mezclado óptimo. Utilice una presión de moldeado de 2000 PSI o de 3000 PSI. La determinación de la gravedad específica a granel no se requiere para este procedimiento de diseño.

Después de la inmersión de cuatro días en 50°C, el índice de la fuerza conservada no será menos del 50 por ciento a menos que esté permitido de otra manera.

4.2.-CANTABRO (Origen ESPAÑA)

El método valora el comportamiento de los cementos asfálticos como parte integrante de la mezcla asfáltica, mediante la evaluación de sus propiedades fundamentales a través del ensayo Cántabro de pérdidas por desgaste. Estas propiedades fundamentales son: cohesión, susceptibilidad térmica, adhesividad y durabilidad

Ensayo Cántabro: Consiste en determinar el desgaste de una briqueta de mezcla asfáltica empleando la máquina de Los Ángeles sin carga, el procedimiento es el siguiente:

- Establecida la granulometría de los agregados, se preparan, para cada contenido de asfalto, un mínimo de 4 briquetas, con el fin de analizar el desgaste de la mezcla sumergida en agua a 49°C durante 4 días.
- Los agregados se secan en estufa hasta tener un peso constante a una temperatura de 105 a 110 °C. Con el fin de mejorar la condición de la mezcla el agregado fino, tamiz pasante del No 200 (Filler o llenante mineral) será reemplazado por cemento Portland.
- El betún empleado, Asfalto de la Refinería de Esmeraldas-Ecuador, se calienta hasta una temperatura de mezclado de 145°C permitiendo así una buena envoltura evitando el escurrimiento.
- La compactación de la mezcla se realiza empleando los moldes y la masa Marshall, pero dando a cada briqueta un total de 50 golpes por cara.
- Sobre la briqueta fabricada se realizan ensayos de densidad y vacíos siguiendo un procedimiento geométrico.
- Después de pesar las briquetas, se someten en la Máquina de Los Ángeles, sin carga abrasiva o Bolas, a 300 vueltas. La temperatura del ensayo deberá ser de 18 °C o de 25°C con una tolerancia de $\pm 1^\circ\text{C}$.
- Después de las 300 vueltas se pasa la briqueta y se calcula la pérdida de peso en porcentaje respecto del inicial que ha sufrido.

4.2.1.-CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS DE LOS MATERIALES

La malla a usar para el diseño de las mezclas drenantes, son estrictamente abiertas.

% PASANTE	
½" (12.5 mm)	100
3/8" (9.5 mm)	85 – 96
No. 4 (4.75 mm)	28 – 45
No. 8 (2.36 mm)	9 – 17
No. 200 (75 µm)	2 – 5
Porcentaje de Asfalto (% del peso total de la mezcla) 5.5 – 12.0	

Tabla 3: Faja de trabajo de las mezclas abiertas

4.2.2.-TOLERANCIAS:

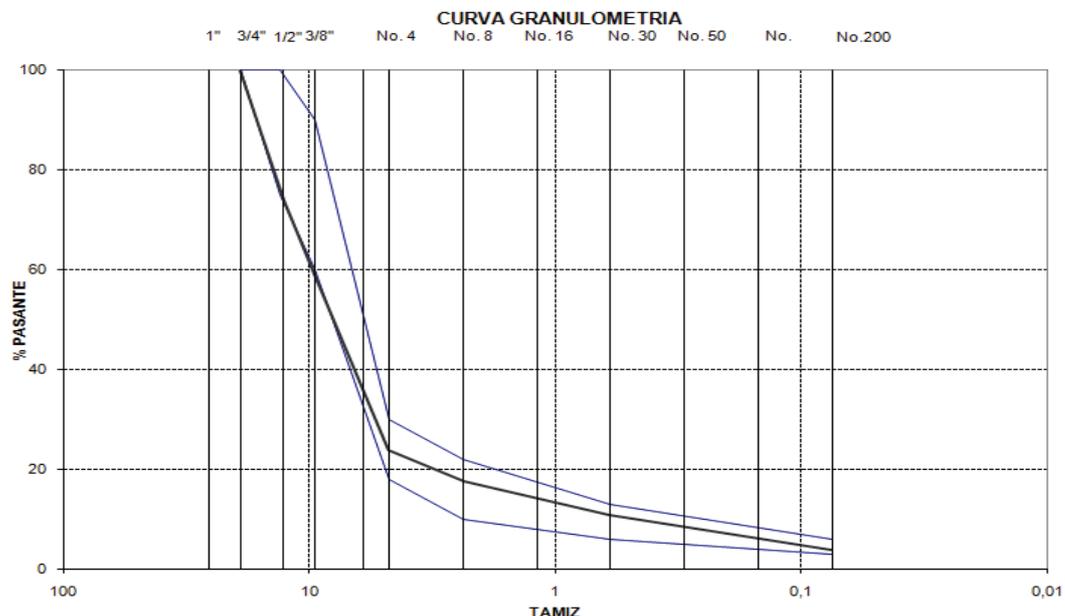
Características de la mezcla	Desviación de Diseño	Rango
Contenido de Asfalto	±0.5 %	1.0
3/8" (9.5 mm) Tamiz	±5 %	10
No. 4 (4.75 mm) Tamiz	±5 %	10
No. 8 (2.36 mm) Tamiz	±4 %	8
No. 200 (75 µm) Tamiz	±2 %	4

Tabla 4: Tolerancias de los pasantes.

4.2.3.-CURVA GRANULOMETRICA

Para este análisis, las partículas de agregados se separan por medio de tamices con aberturas de malla estandarizadas ya sea por medios manuales o mecánicos, y luego se pesan las cantidades que han sido retenidas en cada tamiz.

Se representa gráficamente, teniendo en la horizontal una escala logarítmica, y en la vertical una escala natural.



Diagramas 2: Curva Granulométrica PA-12

4.3.- METODO RP CHILE⁴

4.3.1.- COMO NACE EL METODO RP

En enero de 1998 se inicia la colocación de una mezcla abierta que actuaría como capa para alivio de fisuras en la obra “Juncal – Portillo – túnel Cristo Redentor”. El método inicialmente utilizado para el diseño de esta mezcla fue el de espesor de película. De acuerdo a este método, el contenido de asfalto óptimo fue 2,7 (%) de asfalto referido al agregado seco determinado según LNV-17, por otro lado, debido al bajo valor de área superficial de los áridos (4,92 (ft²/lb)), el contenido de asfalto mínimo para cumplir con la especificación de esta obra (25 (micrones)) fue sólo 2,5 (%) de asfalto. Las pruebas de terreno preliminares de esta mezcla fabricadas con un contenido de asfalto de 2,7 (%), mostraron problemas de cohesión de la mezcla (Rioja, 2000). Por esta razón la empresa constructora procedió a incrementar el contenido de ligante determinado empíricamente que con un porcentaje de bitumen de 3,3 (%), la mezcla mostrada mejor comportamiento de fabricación colocación y particularmente de cohesión frente al tránsito. Las mezclas asfálticas abiertas, eran ya en esa época motivo de investigaciones realizadas por el Laboratorio Nacional de Vialidad de Chile y la oportunidad ofrecida por el proyecto “Portillo” fue aprovechada tomando grandes cantidades de muestras de ligante y de los distintos agregados usados en su construcción.

Paralelamente, se recopiló gran cantidad de información referente a la calidad de la mezcla utilizada. Una vez finalizada y puesta en servicio la obra “Portillo”, se realizaron distintas pruebas de laboratorio con la finalidad de encontrar algún procedimiento que pudiese medir propiedades mecánicas del aglomerado asfáltico. Después de realizados gran cantidad de estudios, se encontró un método de ensayo que aplicado a los materiales provenientes del proyecto “Portillo”, arrojaban como resultado un contenido óptimo de asfalto igual a 3,4 (%) referido al agregado seco, valor coincidente con el contenido de ligante usado en faena y que había mostrado mejor comportamiento mecánico.

A esta forma de ensayo se denominó “RP” que en forma resumida consiste en la medición del esfuerzo a la penetración a temperatura y velocidad controlada que presentan probetas de mezcla asfáltica abierta, fabricadas de acuerdo al método Marshall con 45 golpes por cara y distintos contenidos de ligante, considerando que la mezcla óptima es aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración. Debe destacarse que este procedimiento de diseño es un parámetro empírico. Esta metodología de ensayo fue utilizada posteriormente para un diseño de mezcla drenantes usada en la zona de Sur del país, que previamente se había dosificado según el método Cántabro. El resultado obtenido con los dos métodos fue el mismo. El método “RP” debe su nombre a las iniciales de los apellidos de los creadores del método Héctor Rioja V., y su colaborador Gabriel Palma P., ambos Ingenieros especialistas en control de calidad de obras viales.

⁴ PDF. Mezclas asfálticas open-graded en Chile by Hector Rioja v.

4.3.2.-EXPERIENCIA CHILENA CON EL METODO RP

De acuerdo a las especificaciones Chilenas, las mezclas asfálticas abiertas son aquellas cuyo porcentaje de aire (V_a), es mayor a un 15 (%). Comúnmente, son usadas como capa de alivio de fisuras, ya que este tipo de mezclas impide o atenúa la inducción de grietas desde un pavimento antiguo a otro nuevo. La estructura típica para este tipo de aplicación es: pavimento agrietado, mezcla abierta, capa de rodado. El procedimiento habitual para diseñar este tipo de mezclas es comúnmente conocido como “ Método del Espesor de Película Asfáltica”, que en Chile se encuentra reglamentado según la especificación LNV 17, que es una adaptación de un antiguo método de diseño Norteamericano (R. W. Smith et al,1978).

El procedimiento de diseño usado en Chile tiene algunas deficiencias, como por ejemplo: Extrema sensibilidad en el cálculo del contenido de asfalto mínimo necesario para cumplir con el espesor de película mínimo y que habitualmente es de 25(micrones); (originalmente el valor era de 30micrones). Cambios de tan sólo un punto porcentual en el tamiz No. 200, pueden hacer variar el contenido de asfalto desde un 4,5(%) a un 6,2(%) (Rioja,2000). Además, este método no determina propiedades mecánicas de la mezcla que permitan estimar cuales serían sus verdaderas capacidades frente a cargas de tránsito.

Respecto de esta última apreciación, estudios españoles generaron el ya conocido Método Cántabro que permite medir propiedades mecánicas de mezclas abiertas mediante un método científico. Bajo esta perspectiva **la actual metodología de diseño usado en Chile es más bien una receta con recomendaciones y tanteos empíricos**. Por esta razón, se procedió a idear una experiencia de laboratorio con la finalidad de crear un ensayo basado en consideraciones impuestas, tales como simplicidad, bajo costo y rapidez, que pudiese determinar la cantidad óptima de ligante para la fabricación de una mezcla asfáltica abierta con las mejores características de funcionamiento. Considerando el conocimiento, la experiencia y pruebas previas, se creó el ensayo que ha sido denominado “RP” para el diseño de mezclas asfálticas abiertas.

Es importante destacar que a pesar de que el método RP ha mostrado excelente correlación con una obra en particular, no se ha probado en forma más general, por tanto aún es prematuro juzgar cuál es su verdadero alcance y utilidad para el diseño de mezclas del tipo abiertas. También, no es menos cierto que los resultados obtenidos hasta ahora revelan que este método no está limitado sólo a mezclas abiertas de base, pues también puede usarse para el diseño de mezclas abiertas de superficie.

4.3.3.-MEZCLAS ABIERTAS COMO CAPA DE ALIVIO DE FISURAS

La experiencia Chilena respecto del comportamiento de las mezclas abiertas como capa de alivio de fisuras, ha sido exitosa existiendo casos de pavimentos con tránsito pesado en una de las principales rutas de acceso a la capital, en los cuales un IRI (Índice de regularidad) inicial del 1,4 al cabo de 14 años de uso sólo ha aumentado a 1,6. Una experiencia más reciente es la repavimentación de la ruta 60 CH en el sector Juncal – Portillo Túnel Cristo redentor con un TMDA (Transito Medio Diario Anual) cercano a 1300. Otras obras que han hecho uso de esta técnica de repavimentación son las rutas concesionadas “Santiago – Los vilos”, “Santiago – Talca” y “Los Vilos La Serena “, solo por mencionar algunas.

Muchas veces por desconocimiento de la técnica de diseño de este tipo de mezclas, las empresas constructoras se ven enfrentadas a problemas de trabajabilidad por la aplicación de los polímeros, perdidas de viscosidad – temperatura y colocación en terreno. Con frecuencia también, y en forma errada reducen los contenidos de ligante con objeto de evitar problemas de segregación y puesta en obra.

CAPITULO 5

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA DRENANTE.

CAPITULO 5

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA DRENANTE.

5.-MATERIALES UTILIZADOS.

El proceso de dosificación de la mezcla porosa sigue un camino diferente del habitualmente empleado para otras mezclas bituminosas. Así, mientras que para las mezclas del tipo Hormigón asfáltico en España se sigue el criterio de dosificación Marshall, para las mezclas porosas, tanto en España como en otros países europeos que han adoptado el sistema desarrollado por la Universidad de Santander, se sigue el denominado Método Cántabro.



Para empezar nuestro análisis, marcamos como método el METODO CANTABRO, desarrollado en España, usando la normativa PG-03 y con la curva granulométrica PA-12.

Con respecto a los agregados, usamos como fuente la cantera de la empresa HeH ubicada en la vía Daule, conocida como la cantera "CHIVERIA", donde nos facilitaron los agregados 3 /4, 3/8, y arena que es extraída del sector "El Limonal"

Ilustración 5: Agregados CANTERA CHIVERIA HeH

5.1.-GRANULOMETRIA EMPLEADA.

Las curvas granulométricas presentadas en la Norma Española para mezclas abiertas, se muestran en la tabla 2; la elegida para nuestro ensayo es la PA-12.

Tamiz (mm)	Especificación Española	P		PA	
		10	12	10	12
19	20	100	100	100	100
13,2	12,5	100	75-100	100	75-100
9,5	10	80-90	60-90	70-90	60-90
4,75	5	40-50	32-50	15-30	18-30
2,36	2,5	10 - 18	10- 18	10 - 22	10 - 22
0,6	0,63	6-12	6 - 12	6 - 13	6- 13
0,075	0,08	3-6	3 - 6	3 - 6	3 - 6

Tabla 5: Curva Granulométrica Normativa Española

5.2.- PORCENTAJE DE ASFALTO:

Los porcentajes de asfalto elegidos para estos ensayos fueron de 3%, 3,5%, 4%, 4,5%, 5% respectivamente.

Una vez tamizado los agregados según la tabla 2, se procedió a la dosificación de los agregados cumpliendo la curva PA-12, para la cual no se necesito aplicar arena, simplemente los agregados 3/4 y 3/8 al 70% y 30% respectivamente.

DISEÑO DE PASTILLAS

MASA 1000 GR % ASFALTO 3%

	3/4	3/8	3/4 - 70%	3/8 - 30%	SUMATORIA	TOTAL
3/4"						
1/2"	37,2		26,0		26,0	260,4
3/8"	17,9	7,5	12,5	2,25	14,8	147,8
No. 4	42,6	17,8	29,8	5,34	35,2	351,6
No. 8	0,6	19,9	0,4	5,97	6,4	63,9
No. 30	0,5	21,3	0,4	6,39	6,7	67,4
No. 200	0,6	21,5	0,4	6,45	6,9	68,7
PASANTE	0,6	12,0	0,4	3,6	4,0	40,2

Tabla 6: Muestra a dosificación de cada uno de los agregados, cumpliendo con la faja de trabajo.

5.2.1.-TIPOS DE POLIMEROS A USAR

Los polímeros para las mezclas asfálticas drenantes, son en estado líquido, **elastómero del tipo SBS** (estireno, butadieno, estireno). Ya que tienen mejor restitución elástica.

De la línea **BASF** tenemos el polímero BUTONAL NX11, su olor es ligeramente aromático, de color blanco con un PH: 4.0 - 4.5 y con una densidad aproximada de 0,94 g/cm³ (20°C).

Como se ha podido comprobar en las pruebas de campo y de laboratorio, el polímero SBR mejora las propiedades del asfalto, bien sea en la modificación mezcla caliente o en emulsiones asfálticas.

El SBR reduce el ahuellamiento, agrietamiento térmico y aumenta la retención del agregado a través de la formación de una red polimérica. La modificación del Asfalto Ecuatoriano con SBR permite mejorar su desempeño y resistencia al ahuellamiento, esto resultará en vías de mejor calidad y con mayor durabilidad factor clave para el desarrollo sostenible del país.⁵

Las experiencias de modificación de este asfalto con **SBS**, han **resultado poco satisfactorias** debido al envejecimiento acelerado que sufre el Asfalto Ecuatoriano al ser sometido a temperaturas de 170 a 180 °C durante períodos de dos horas, en molinos de alto corte, condiciones necesarias para mezclar el SBS con Asfalto.

En el caso del **SBR**, debido a que es una dispersión, no se necesitan estas condiciones de mezcla, solo es necesario incluir una entrada de polímero a la línea de asfalto, con la previsión de que este punto se encuentre a más de dos metros del punto de mezcla con los agregados.

Se han **realizado experiencias exitosas** en inyección del polímero directamente a la línea de asfalto utilizándose dispersiones tanto aniónicas como catiónicas para esta aplicación.

La elevada elasticidad del asfalto modificado con SBR ha mejorado sus propiedades en aplicaciones de impermeabilización y sellado de juntas. Según las tablas de cálculo de la empresa BASF, muestran que se necesita aplicar 2,8 kilogramos del polímero para cada tonelada, el costo del kilo es de \$3,25 más IVA aproximadamente.

5.3.- PRUEBAS REALIZADAS.

Con la granulometría correcta y el porcentaje de asfalto aditivado respectivo, se procedió a la preparación de las probetas.

- Las distintas fracciones de áridos que componen la mezcla se secaron en estufa hasta masa constante a una temperatura de 105°C a 110°C.

⁵ **ASFALTO ECUATORIANO MEJORADO CON LATEX SBR**

Walter Liewald M.Sc.

Representante Técnico de Modificadores de Asfalto para América Latina,
BASF Ecuatoriana S.A.; BASF Corporation

- El betún empleado se lo mezcló con un 5% de butonal respectivamente, es decir 1000 gr de asfalto 50 gr de butonal, se calienta hasta una temperatura tal que su viscosidad permita una buena envuelta sin que se produzca el escurrimiento.
- La compactación de la mezcla se realizó empleando los moldes y la masa Marshall, pero dando a cada probeta un total de 50 golpes por cara.

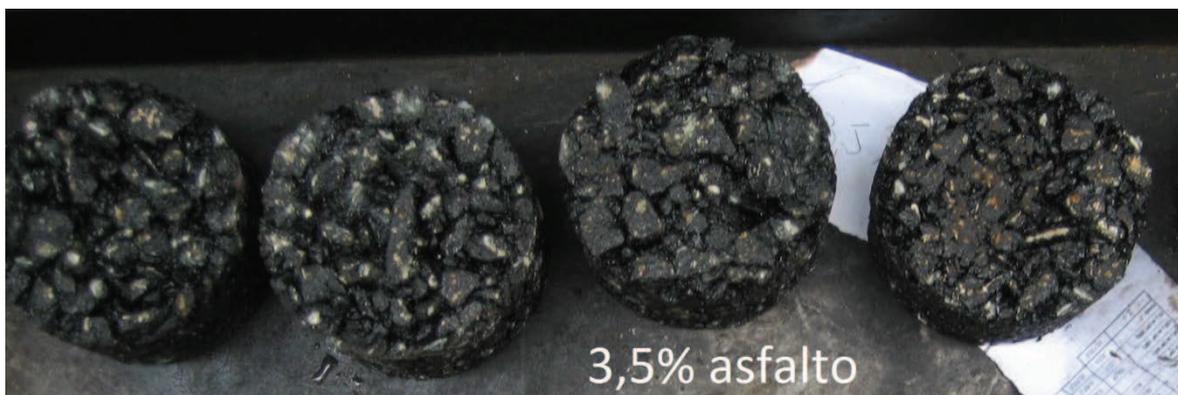


Ilustración 6: Vemos las muestras al 3,5% de asfalto respectivo.

- Sobre la probeta fabricada se realizaron ensayos de densidad y huecos siguiendo un procedimiento geométrico.
- Después de pesar las probetas, se sometieron en el Tambor de los Ángeles, sin carga abrasiva (bolas), a 300 vueltas. La temperatura del ensayo debe ser de $18 \pm 1^\circ\text{C}$ o de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, para nuestro ensayo se las colocó a 25°C .
- Después de las 300 vueltas se pesa la probeta y se calculó la pérdida de peso en porcentaje respecto del inicial que ha sufrido.

Este valor de la pérdida de peso es el que sirve de referencia para la dosificación de la mezcla. Es importante señalar junto con la pérdida de peso, la temperatura a la que se ha efectuado el ensayo, puesto que esta influye de manera decisiva en el resultado.

Las recomendaciones más usuales para mezclas porosas para capas de rodadura establecen los siguientes valores máximos y mínimos de exigencias.

- % Huecos $> 20\%$
- Pérdida al Cántabro seco (25°C) $< 25\%$
- Pérdida al Cántabro tras Inmersión (24 hs, 60°C) $< 35\%$

Las pruebas realizadas según la norma cántabro –española-, son:

- Cálculo de porcentajes de vacíos: Mediante el método de la parafina, vs el Rice.
- Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste. (NLT-352/00) anexos.
- Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas de granulometría abierta, mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste – (NLT-362/92) anexos.

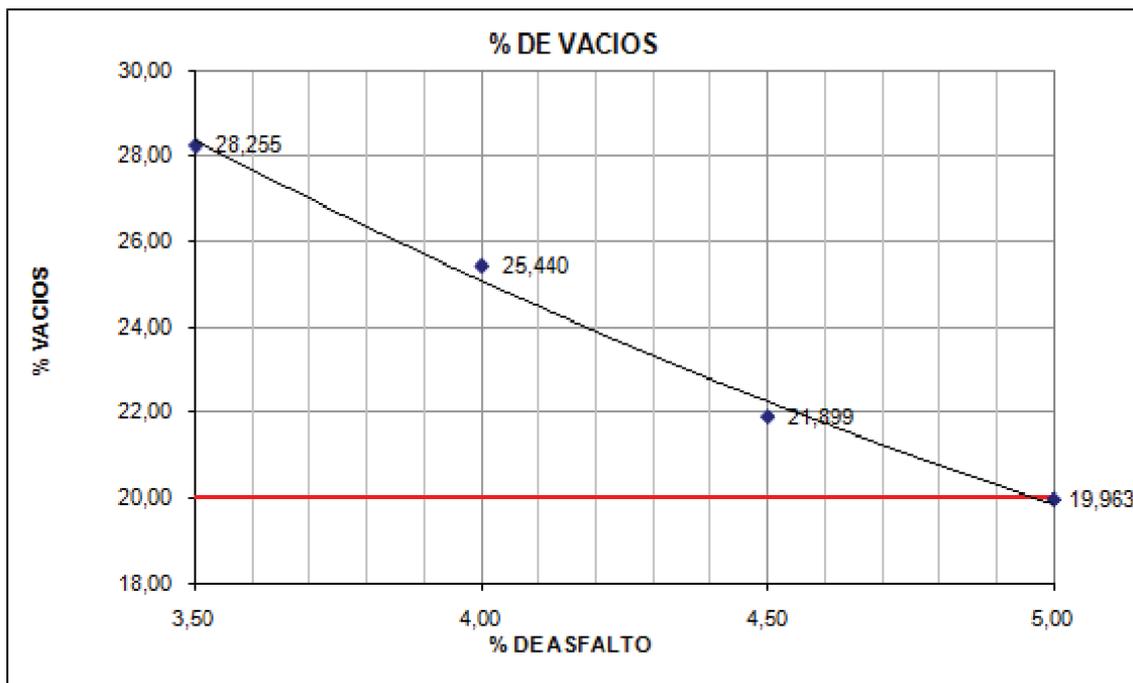
5.3.1.-Cálculo de porcentajes de vacíos.

El porcentaje de vacíos en dichas mezclas, por su alto porcentaje de vacíos, debemos emplear el método de ensayo ASTM D 1188 2002. Anexos.

Este método se aplica cuando la muestra es abierta o interconectada por vacíos, y absorbe más del 2% en agua del volumen.

En nuestras pruebas todas las pastillas pasan el 20 % de vacíos.

ANEXO resultados de la prueba.



Diagramas 3: Curva de % de Vacíos vs el contenido de asfalto.

5.3.2.-Cálculo de desgaste Método Cántabro (NLT-352/00)

De las briquetas realizadas con los porcentajes de asfalto respectivo separamos dos de cada porcentaje de asfalto para prepararlas y ensayarlas por dicho método.

La normativa española actual establece que la pérdida por desgaste en el Ensayo Cántabro a 25° C debe ser inferior al 25% en peso. Además, el contenido de huecos, determinado midiendo con calibre las dimensiones de las probetas preparadas según la NLT-159/86, deberá ser superior al 20%.



Una vez colocadas las pastillas en el tambor, calibrado entre 30 a 33 rpm, se introduce una pastilla en el tambor para pasar por 300 vueltas dentro del mismo, una vez terminando, la porción de pastilla la extraemos y la pesamos, con dichos valor y según las norma NLT-352/00 procedemos con el cálculo.

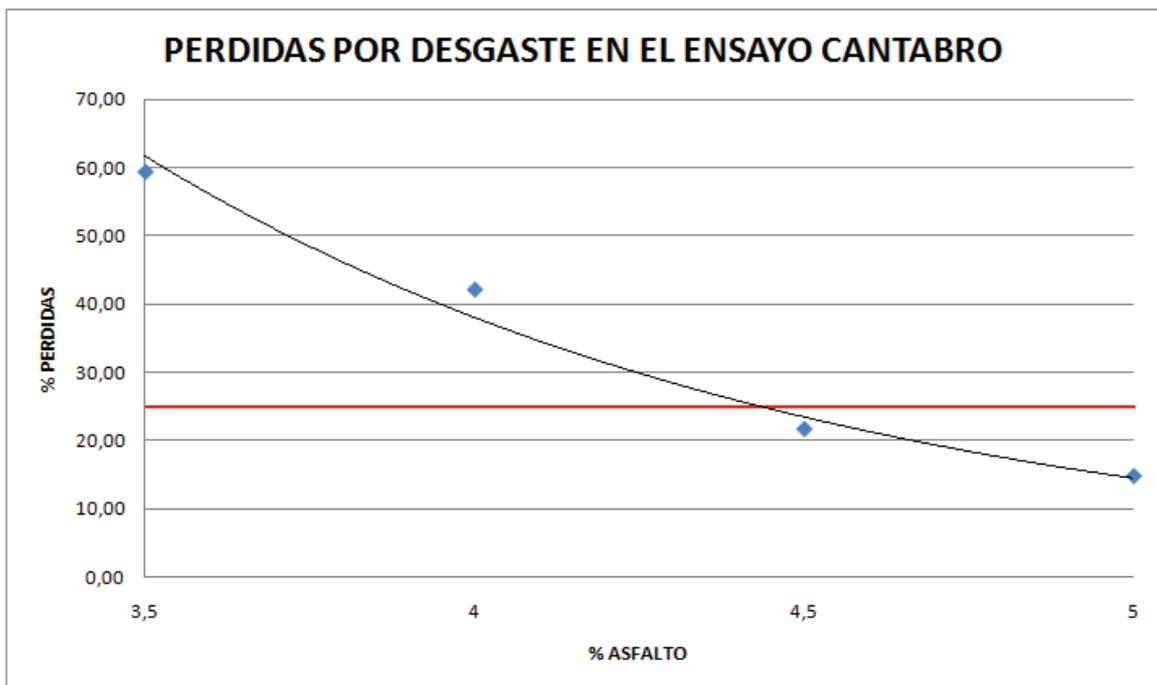
Ilustración 7: Vemos el tambor de los Ángeles donde se aplicaron las muestras entre 30 a 33 rpm por 300 vueltas.



Ilustración 8.: Muestra resultante del ensayo de los Ángeles

MUESTRAS	% ASFALTO	p1 ANTES	p2 DESPUES	% DE PERDIDAS	PROMEDIO
4	3,5	998,4	489,9	50,9	59,30
5	3,5	1002	323,9	67,7	42,06
9	4	1000	680,8	31,9	21,6
10	4	997,4	476,8	52,2	21,6
15	4,5	1004,8	792,6	21,1	14,74
13	4,5	1003,7	781,50	22,1	
19	5	1004,3	853	15,1	
20	5	932,3	798	14,4	

Tabla 7: Resultados obtenidos en Cántabro.



Diagramas 4: Pérdidas por desgaste en el ensayo Cántabro (<25%)

5.3.3.-Cálculo de desgaste Método Cántabro – efecto del agua – (NLT-362/92)

La realización del ensayo de pérdida por desgaste tras inmersión es muy recomendable puesto que permite simular el efecto que va a producir la presencia de agua en todo el espesor de la mezcla durante la vida de servicio de esta. Además, permite detectar posibles problemas de mala adhesividad pasiva árido-ligante, posibles problemas de mala calidad de los Filler, etc., además de constituir una garantía de seguridad para el futuro comportamiento de la mezcla en la carretera.

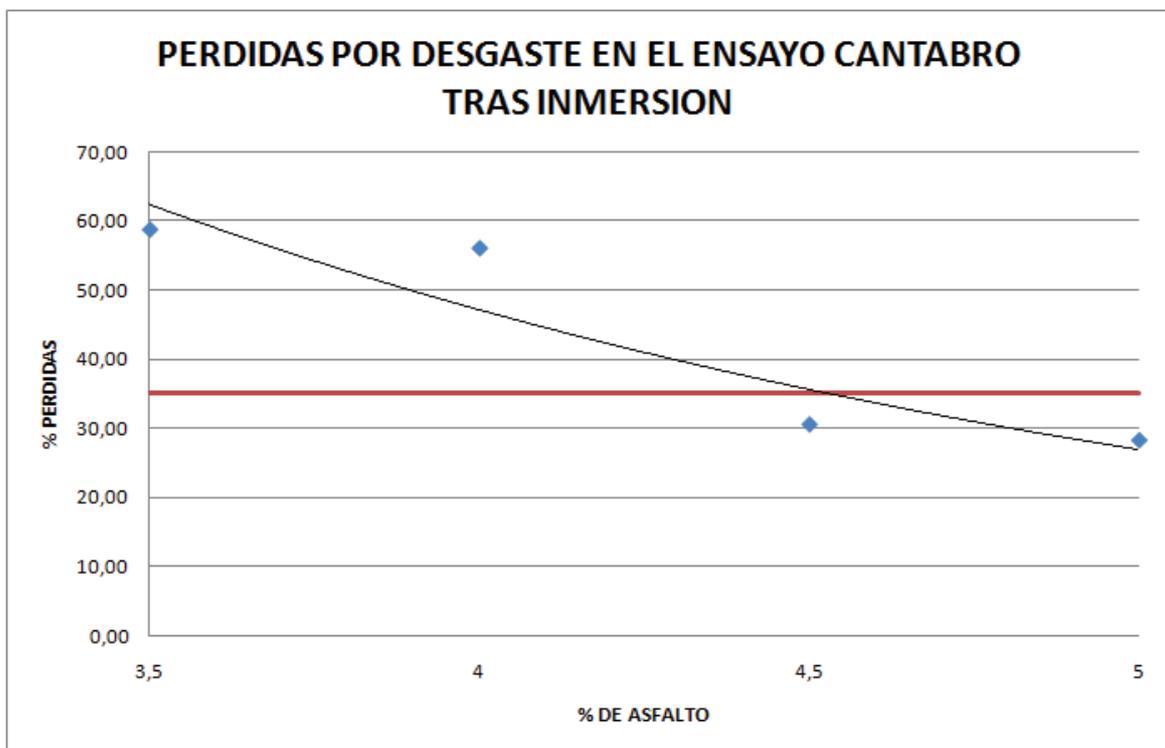


Ilustración 9: Vemos en la grafica, las muestras sumergidas en agua a 60 grados centígrados por 24 horas.

La calidad del pavimento terminado depende de que tanto éxito se logre en el proceso de compactación. Generalmente se usan tres criterios para juzgar la aprobación de una carpeta terminada. Estos son: textura superficial, tolerancia de la superficie, y densidad. Es la responsabilidad del inspector de asegurar que cada criterio sea cumplido.

MUESTRA	% ASFALTO	P1 ANTES	P2 DESPUES	P%	PROMEDIO
2	3,5	1008,4	152,1	84,92	58,63
3	3,5	1006,7	681	32,35	
7	4	1007,9	394,5	58,00	55,95
8	4	1012	454	53,90	
12	4,5	1005,5	349,5	29,00	30,50
14	4,5	1000,9	456	32,00	
17	5	1000,9	692,2	27,50	28,20
18	5	983,3	679,8	28,90	

Tabla 8: Resultados obtenidos en cántabro tras Inmersión.



Diagramas 5: Perdidas por desgaste en el ensayo cántabro tras inmersión (<35%)

5.4.- ANALISIS DE COSTO.

Las mezclas asfálticas drenantes, considerando la aplicación de aditivo al 5%, con un costo de \$ 3,25 dol. Más IVA, por kilo, nos da un costo de mezcla en planta aproximado a los 100 dol. Más IVA.

Teniendo en cuenta que es un menor porcentaje de asfalto, comparando con las mezclas convencionales, pero aumentando su costo por la aplicación del polímero.

Al momento de tender la mezcla en obra, tenemos menor costo de maquinaria, ya que solo se necesitan la pavimentadora y el rodillo doble tambor auto-propulsado, con una disminución del 15% del costo maquinaria, comparando con las mezclas convencionales.

Teniendo como costo de metro cuadrado tendido a una distancia de planta aproximada a los 15km, con un espesor de 2 pulg de \$9,50 más IVA.

5.5.-CONCLUSIONES.

De acuerdo a estos grafico, vemos que en los ensayos realizados a las muestras mediante el método de Cántabro Seco (NLT-352/00), los porcentajes comprendidos entre 4,4% a 5% cumplen con el máximo del 25% de desgaste permitido, según diagrama 4.

De igual forma, vemos en el diagrama 5 mediante el método de cántabro tras Inmersión en agua (NLT-362/92), los porcentajes comprendidos entre 4,6% a 5% cumplen con el máximo del 35% de desgaste permitido.

Analizando en Diagrama 3 de vacios vs porcentajes ensayados de asfalto, se determina que todos los porcentajes ensayados cumplen con el mínimo de vacios del 20%.

Con estos datos se determina el rango en el que se cumplen estas 3 condiciones. De 4,6% al 5%. Con lo cual se especifica como porcentaje optimo 4,8%.

CAPITULO 6

SISTEMA CONSTRUCTIVO

CAPITULO 6

SISTEMA CONSTRUCTIVO

6.-DESCRIBIR LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

6.1.-TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN

La temperatura de compactación se determina, mediante las curvas de viscosidad-temperatura, con una mezcla asfáltica con su porcentaje de polímero elegido.

En nuestro estudio, con el 5% de polímero butonal respecto al porcentaje de asfalto nos da una temperatura de 168C a 173 C, para la compactación.

6.2.-EQUIPOS DE TENDIDO O PAVIMENTACION.

Las operaciones de pavimentación incluyen el transporte de la mezcla asfáltica en caliente al lugar de la obra, la colocación de la mezcla sobre la carretera, y la compactación de la mezcla hasta la densidad de referencia.

Los equipos usados para el tendido de la mezcla asfáltica porosa son:

- **La Pavimentadora:** Equipo auto-propulsado, el cual se encarga del tendido de la mezcla asfáltica, desde la descarga del las volquetas hasta su colocación en los distintos espesores, proporcionando una compactación inicial de la carpeta.



Ilustración 10: Pavimentadora CAT.

Las dos partes principales de una pavimentadora son la unidad de potencia o del tractor, y la unidad de enrase. La mayoría de los defectos en la superficie ocurrirá en áreas donde la pavimentadora se ha detenido y luego ha seguido pavimentando.



Ilustración 11: Pavimentadora CATERPILLAR

Lo mejor es mantener la pavimentadora en movimiento a una velocidad constante, es probable que sea necesario detenerla en algún momento. Cuando sea necesario es recomendado que la pavimentadora se detenga tan rápido como se pueda, siendo constante. El mismo concepto se aplica cuando se arranca la pavimentadora. La pavimentadora debería ser acelerada tan rápido como sea posible, a la velocidad de pavimento anterior, de nuevo siendo constante.

Finalmente, nunca se debe mantener el nivel de material en la tolva bajo el nivel de las compuertas. La tolva debería siempre tener al menos de 6 a 10 pulg (150 – 250 mm) de material. Esto ayudará a eliminar la segregación final ó la rugosidad final.

6.3.-EQUIPO DE COMPACTACION

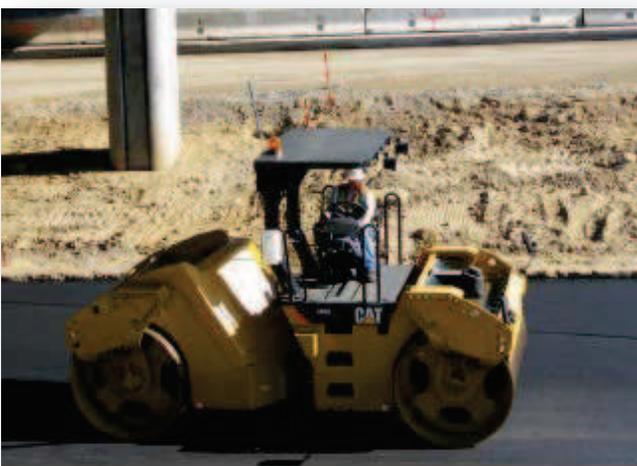


Ilustración 12: Rodillo Doble Tambor. CATERPILLAR

- **El Rodillo:** Equipo auto-propulsado, que tiene como proceso el comprimir un volumen dado, de mezcla asfáltica en caliente, en uno más pequeño.

La compactación tiene dos objetivos importantes al comprimir las partículas de agregado. Estos son: la resistencia y la estabilidad de la mezcla. Adicionalmente, la compactación se efectúa usando cualquiera de los diferentes tipos de compactadores o aplanadores, vehículos que con su peso, o con

fuerza dinámica, compactan la carpeta

de pavimento, al tránsito sobre ella en un patrón específico.

Las compactadoras vibratorias consiguen la compactación a través de una combinación de tres factores, estos son:

- Peso
- Fuerza de impacto (Vibración del Tambor)
- Respuesta a la vibración en la mezcla

El factor peso ha sido muy discutido en conexión con las compactadoras de ruedas de acero y las de ruedas neumáticas. Las fuerzas de impacto son aquellas generadas por la vibración del tambor de compactación, y están reguladas mediante el control de la frecuencia y la amplitud de la vibración. La cantidad de fuerza de impacto

necesaria para obtener la densificación óptima en la carpeta varía con la temperatura y las propiedades de la mezcla asfáltica, el espesor de la carpeta, y el soporte proporcionado por la superficie sobre la cual se coloca la carpeta. Esta cantidad de fuerza también varía con el diámetro y ancho del tambor, y con la proporción entre el peso estático y la fuerza dinámica (de impacto).

La respuesta a la vibración de la mezcla consiste en la manera como la mezcla reacciona a las fuerzas ejercidas sobre ella. Como con los otros tipos de compactadoras, la mezcla será fácilmente o difícilmente compactada dependiendo de su temperatura, su cohesión, la textura y forma de las partículas, el confinamiento, y otros factores. Lo único que varía en el caso de las compactadoras vibratorias es la presencia de fuerzas repetitivas dinámicas sobre la carpeta.

Compacto la mezcla en un mínimo de uno (1) pasar de un rodillo de rueda tándem acero estático, hasta completar la compactación del agregado. Utilizar rodillos con una capacidad máxima de 1700 metros cuadrados por hora. No sobre compactar ya que podría resultar picado el agregado. Completar la rodillada antes la temperatura de la mezcla ha descendido por debajo de 250 ° F de (120 °C).

No se requerirá del rodillo Neumático para la compactación de las mezclas abiertas, (OGFC).



Ilustración 13: Rodillo Doble Tambor. CATERPILLAR

CAPITULO 7

ANEXOS

CAPITULO 8

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 8

BIBLIOGRAFIA

8.1.-BIBLIOGRAFIA:

- DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE LIGANTE OPTIMO, EN MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS
O. Rebollo; R. González y G. Botasso
- NAPA's HMA Pavement Mix Type Selection Guide (2001)
- Principios de construcción de pavimentos de Mezclas asfálticas en Caliente –ASPHALT INSTITUTE-
- ASFALTO ECUATORIANO MEJORADO CON LATEX DE ESTIRENO-BUTADIENO (SBR) BASF.

8.2.- PAGINAS ELECTRONICAS:

- <http://www.fhwa.dot.gov/legregs/directives/techadv/t504031.htm>
- <http://www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferencia/Transferencia52/eli3-52.html>
- http://www.asfaltotecnica.cl/documentos/Las_Mezclas_Abiertas.pdf
- <http://www.construaprende.com/t/07/T7pag09.php>
- www.dot.ca.gov/hq/esc/oe/
- <http://www.dot.ca.gov/hq/esc/ctms/index.html>
- <http://www.dot.ca.gov/hq/esc/Translab/fpm.htm>
- <http://www.pdfgeni.com/book/Porous-Asphalt-Pavements-for-Stormwater-Management-pdf.html>
- <http://www.fhwa.dot.gov/environment/ultraurb/3fs15.htm>
- http://www.unh.edu/erg/cstev/pubs_specs_info/unhsc_pa_spec_10_09.pdf
- http://www.unh.edu/erg/cstev/pubs_specs_info/porous_ashpalt_fact_sheet.pdf
- <http://www.coastal.ca.gov/nps/lid/Milar-PorousAsphaltPavements.pdf>
- http://www.flexiblepavements.org/fpoconnect/august05/fall_napa_broch.pdf
- <http://www.dakota-asphalt.org/DAPAPorous4.pdf>
- http://www.michigan.gov/documents/deq/deq-wb-nps-pap_250889_7.pdf
- http://www.humboldtstormwater.com/docs/pp_workshop/presentations/4_porous_a_sphalt.pdf
- <http://www.flexiblepavements.org/documents/PPsurf20July07.pdf>
- http://www.cowiprojects.com/noiseclassification/docs/Noise_reduction_with_porous_asphalt.pdf
- <http://www.asphaltindiana.org/docs/PorousAsphaltCont..pdf>
- <http://www.foundationperformance.org/pastpresentations/FittsPresSlides-13Feb08.pdf>
- <http://www.govengr.com/ArticlesMar05/porous.pdf>
- <http://www.balticroads.org/conference25/files/raaberg-j.pdf>
- <http://www.rwmwd.org/vertical/Sites/%7BAB493DE7-F6CB-4A58-AFE0-56D80D38CD24%7D/uploads/%7B495C857D-FED3-409E-B58A-E6A16D827DEA%7D.PDF>
- http://www.udfcd.org/downloads/pdf/critmanual/Volume%203%20PDFs/Porous_Asp halt_Provisional_Criteria_and_Detail.pdf
- http://www.unipr.it/arpa/dipcivil/felice_giuliani_files/articoli/Winter_Giuliani_2002.pdf
- http://www.iwla.org/fileadmin/template/docs/webc/Barrett_Porous_Overlay.pdf
- http://www.psparchives.com/publications/our_work/stormwater/lid/paving_docs/UNH%20Porous%20Asphalt%20Study%202006.pdf
- <http://www.easts.info/2003proceedings/papers/0323.pdf>
- http://www.terreroadalliance.org/events/innovation_series/2008/documents/07-lebens-porous.pdf