

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



TECNOLOGÍA DE LAS MEZCLAS DRENANTES

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

MARIBEL SALAS PEREZ

**LIMA – PERU
2005**

DEDICATORIA

A Dios, por su amor y misericordia, porque todo lo que tengo es gracias a él y por darme fuerzas para afrontar los momentos más difíciles.

A mis padres, Rosa y Leonidas, por su apoyo incondicional, por encontrar en ellos todo el amor y la fuerza para alcanzar mis metas.

A mi querida hija, Andreita que es mi nueva razón de vivir y el motivo de salir adelante.

INDICE

**INTRODUCCION
OBJETIVO
ASPECTOS GENERALES**

CAPITULO I

**ASPECTOS GENERALES DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS CON
POLIMEROS**

**1.1 CONCEPTO
1.2 CLASES DE POLIMEROS
1.3 MECANISMOS DE MODIFICACIÓN
1.4 BENEFICIOS LOGRADOS EN EL ASFALTO
1.5 CAMBIOS DEL PAVIMENTO AL UTILIZAR ASFALTO
MODIFICADO
1.6 COMPATIBILIDAD POLIMERO-ASFALTO
1.7 PROPIEDADES DE LOS LIGANTES Y MEZCLAS ASFÁLTICAS
1.8 VENTAJAS DE LAS MEZCLAS EN SERVICIO**

CAPITULO II

LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES

2.1 INTRODUCCION

2.2 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LAS MEZCLAS DRENANTES

- 2.2.1 Componentes de la Mezcla**
- 2.2.2 Requisitos de la Mezcla de Áridos**
- 2.2.3 Riego de Liga**

2.3 DISEÑO DE LAS MEZCLAS DRENANTES

2.4 PROPIEDADES ESENCIALES DE LA CARPETA DRENANTE

- 2.4.1 Resistencia al deslizamiento.**
- 2.4.2 Alta Permeabilidad**
- 2.4.3 Resistencia a la disgregación**
- 2.4.4 Resistencia a la deformación plástica.**

2.5 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE LAS MEZCLAS

- 2.5.1 Aspectos Generales de Fabricación**
- 2.5.2 Transporte y Colocación de la Mezcla Drenante**
- 2.5.3 Compactación de la Mezcla**
- 2.5.4 Tratamiento de Juntas**
- 2.5.5 Control de calidad**

2.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS MEZCLAS DRENANTES

**2.7 MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LA CARPETA
DRENANTE**

CAPITULO III

APLICACIONES DE MEZCLAS DRENANTES

3.1 CRACTERIZACION DINAMICA DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE CON ADICION DE DESECHOS PLÁSTICOS MEDIANTE TÉCNICAS DE BANCO DE FATIGA.

3.1.1 Resumen

3.1.2 Ensayos realizados

3.1.3 Principales resultados

3.1.3.1 Caracterización de los materiales

3.1.3.2 Caracterización de la Mezcla asfáltica con y sin adiciones de plástico.

3.1.4. Conclusiones

3.2 ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE HORMIGÓN ASFALTICO DRENANTE MODIFICADO CON ASFALTO GOMA.

3.2.1 Resumen

3.2.2 Granulometría adoptada.

3.2.3 Efectos de la modificación por adición de asfalto goma

3.2.4 Procedimientos de Laboratorio

3.2.5 Análisis de resultados

3.2.6 Conclusiones.

3.3 REPORTE DE INVESTIGACIÓN DE MEZCLAS DRENANTES

3.3.1 Introducción

3.3.2 Caracterización de la Materia Prima

3.3.3 Resultados obtenidos

3.3.4 Análisis de resultados.

3.3.5 Conclusiones

3.4 COMPORTAMIENTO DE UN CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO EN UNA CARPETA DRENANTE(México)

3.4.1 Resumen

3.4.2 Análisis de Resultados

3.4.3 Conclusión.

CAPITULO IV

ENSAYOS Y EQUIPOS

4.1 ENSAYOS EN LABORATORIO

4.1.1 Ensayo Cantabro Seco

4.1.2 Ensayo Cantabro Húmedo

4.1.3 Ensayo de Escurrimiento

4.1.4 Ensayo de Permeabilidad

4.2 ENSAYOS EN CAMPO

4.2.1 Ensayo de Permeabilidad insitu

4.2.2 Microtextura

4.2.3 Macrotextura
4.2.4 Resistencia al deslizamiento

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INTRODUCCION

Las Mezclas Drenantes en caliente fueron inicialmente desarrolladas en los E.E.U.U., donde se empleaban como capas de pequeño espesor (2.5 cm. Aprox.) con el objeto de renovar la textura superficial de pavimentos deslizantes y/o exudados. Este empleo no suponía, sin embargo, un aprovechamiento integral de sus posibilidades de su capacidad drenante y no se tenía en cuenta, al menos de una forma específica, la mejora de la comodidad y seguridad para la conducción.

En Europa, el primer país en estudiar con profundidad este tipo de Mezclas fue España. El objetivo inicial que se buscó con estas mezclas fue mejorar las condiciones de circulación de los vehículos en situaciones de lluvia.

Como es bien sabido, la presencia de agua sobre el pavimento dificulta el contacto del neumático con la superficie del pavimento, dando lugar a que se produzcan con mayor facilidad ocasiones para el deslizamiento y vuelco de los vehículos.

Los estudios que se han realizado fueron enfocados al desarrollo de una metodología de diseño y control, se iniciaron en los años 80 en la provincia de Santander y fueron dirigidos por la Escuela Técnica de Ingenieros de Caminos de Santander. Como resultado de estos estudios se normalizaron los siguientes ensayos :

- Determinación de la pérdida por desgaste de mezclas asfálticas mediante el empleo de la máquina de Los Ángeles (Ensayo Cántabro).
- Determinación de la permeabilidad in situ mediante el empleo del permeámetro L.C.S.

Basándose en algunos ensayos tradicionales y los nuevos ensayos, se normalizó el diseño, fabricación, construcción y control de mezclas asfálticas drenantes en caliente.

OBJETIVO

Tecnología e Investigación para el uso de Mezclas Drenantes en los Pavimentos como alternativa de solución frente al problema que causa el agua en su participación en el deterioro progresivo sobre la estructura de la misma.

ASPECTOS GENERALES

Las Mezclas Asfálticas Drenantes pueden definirse como aquellas mezclas bituminosas cuyo contenido de vacíos es suficientemente alto para permitir que a través de ella se filtre el agua de lluvia con rapidez y pueda ser evacuada hacia las bermas, cunetas u otros elementos de drenaje, evitando su permanencia en la superficie de la capa de rodadura, incluso bajo precipitaciones intensas y prolongadas.

Habitualmente se admite que para que una mezcla pueda considerarse drenante debe tener un contenido inicial de vacíos del 16%. Este límite establecido, 16%, puede parecer arbitrario. Realmente con valores inferiores de porosidad las mezclas pueden tener una capacidad drenante apreciable. Sin embargo, para que esta capacidad se mantenga durante un período de tiempo razonable, es necesario fijar un límite mínimo de partida. Este límite cambia según distintos criterios pero casi todos ellos pueden englobarse dentro del correspondiente al 16%. Ello no supone que las distintas normativas se conformen con este porcentaje. Lo aconsejable es partir de una porosidad mayor.

Las Mezclas Drenantes pueden construirse tanto en caliente como en frío, empleando como ligantes los asfaltos puros o las emulsiones asfálticas modificadas o no. De hecho, las mezclas en frío fabricadas tradicionalmente en España, con un contenido nulo o casi nulo de arena, son drenantes en sentido estricto con porcentajes de vacíos presente en la mezcla asfáltica del orden del 25%. Sin embargo, la técnica de las mezclas drenantes ha adquirido un auge espectacular en los últimos años debido al avance de sistema de diseño e instalación en obra como

mezcla bituminosa en caliente.

CAPITULO I
Aspectos Generales de los
Asfaltos Modificados con Polímeros

CAPITULO I

Aspectos Generales de los Asfaltos Modificados con Polímeros

1.1. CONCEPTO

El asfalto modificado es aquel que mediante un proceso de mezclado a alta temperatura y esfuerzo cortante, se le incorporan polímeros para formar una "RED" tridimensional que atrapa dentro de sus espacios a las moléculas del asfalto.

Esta RED absorberá gran parte de los esfuerzos a los que se vería sometido el asfalto en un pavimento.

Es dentro de esta Red Radial, en la que los Dominios de Poliestireno hacen la función de ANCLAS entre los diferentes elementos de la red y las cadenas de polibutadieno son la componente elástica de la misma.

Dentro de estos espacios es donde las partículas de asfalto quedan incorporadas y en consecuencia protegidas tanto del medio ambiente como de los esfuerzos a los que esta regularmente sometido un pavimento.

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes mas viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las

capas de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.

1.2 CLASES DE POLIMEROS

Polimeros utilizados con asfaltos	
Tipo de modificador	Ejemplo
Elastómeros	Natural
	SBS
	SBR
	EPDM
	PBD
Plastómeros	EVA
	EMA
	PE
	PP
	Poliestireno

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos o miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas, etc. Algunos modificadores poliméricos que han dado buenos resultados son los siguientes :

Homopolímeros : que tienen una sola unidad estructural (monómero). Ejemplo Estireno (S), Butadieno (B), Etileno, Propileno.

Copolímeros: formado por dos Monómeros diferentes. Ejemplo: Estireno(S) + Butadieno (B).

Plastómeros: al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tienen deformaciones pseudoplásticas con poca elasticidad. Dentro de estos tenemos:

- EVA: etileno-Vinil-Acetato.
- EMA: Etileno-acrilato de metilo
- PE: (polietileno) tiene buena resistencia a la tracción y buena resistencia térmica, como también buen comportamiento a bajas temperaturas.
- PP: (Polipropileno).
- Poliestireno: no son casi usados.

Elastómeros: al estirarlos, a diferencia de los anteriores, estos vuelven a su posición original, es decir, son elásticos. Dentro de estos tenemos:

- Natural: caucho natural, celulosa, glucosa, sacarosa, ceras y arcillas son ejemplos de polímeros orgánicos e inorgánicos naturales
- SBS:(Stireno-butadieno-Stireno). Este es el más utilizado de los polímeros para la modificación de los asfaltos, ya que este es el que mejor comportamiento tiene durante la vida útil de la mezcla asfáltica.
- SBR:(Stireno-butadieno-Rubber) o Cauchos sintéticos del 25% de Estireno y 75% de butadieno; para mejorar su adhesividad se le incorpora ácido acrílico
- EPDM: (polipropileno atáctico) es muy flexible y resistente al calor y a los agentes químicos.

Termoendurecibles: estos tienen muchos enlaces transversales que impiden que puedan volver a ablandarse al calentarse nuevamente. Son ejemplos de estos las resinas epóxi; estas se usan en grandes porcentajes, mayores al 20%, son muy costosas y se utilizan para casos especiales (ejemplo: playa de camiones).

1.3 MECANISMO DE MODIFICACIÓN

Primera Etapa : El polímero está completamente encogido en estado en reposo (fracciones estireno y butadieno).

Segunda Etapa : El polimero empieza a desenredarse por absorción del aceite contenido en el asfalto, el mismo que se impregna (el aceite) e hincha el polibutadieno, produciéndose la disolución del polimero.

Tercera Etapa : El polimero se extiende, disolviéndose completamente dentro del asfalto por su geometría y por su anclaje con otros elementos.

1.4 BENEFICIOS LOGRADOS EN EL ASFALTO

Algunas propiedades físicas que el asfalto modificado mejora respecto del asfalto convencional son:

- Aumento del intervalo de plasticidad
- Disminución de la Penetración
- Aumento del punto de Ablandamiento
- Disminución de la Fragilidad a baja Temperatura
- Aumento de la Viscosidad
- Disminución de la Susceptibilidad Térmica
- Mejora de la Adhesividad
- Incremento de la Cohesividad
- Aumento de la carga de Rotura mediante Ensayos de Tracción a diferentes temperaturas
- Aumento de la Durabilidad debido a la disminución de la Oxidabilidad
- Disminución y deterioro por permeabilidad.

1.5 CAMBIOS DEL PAVIMENTO AL UTILIZAR ASFALTO MODIFICADO

Al utilizar Asfalto Modificado se mejora la resistencia a la Deformación Permanente, ocasionada por altas temperaturas y cargas altas o lentas, situaciones que se presentan en Climas Calientes, Zonas de tránsito pesado, zonas de estacionamiento.

Mejora la resistencia a la Fractura Permanente por fuerzas derivadas de bajas temperaturas o cargas aplicadas rápidamente (frecuencias altas), es decir carga o compresión y descarga o retorno a la posición original. Si el asfalto no tiene la flexibilidad suficiente para regresar a su posición original, el fenómeno de carga y descarga ocasiona fracturas permanentes.

Por lo tanto, los cambios de un Pavimento con asfaltos modificados respecto de un pavimento convencional son :

- Mejora la resistencia a la fatiga
- Mejora la resistencia a la deformación permanente
- Mejora el desempeño a altas temperaturas
- No se reblandece y a bajas temperaturas no se fracturan
- Reduce la formación de "roderas"
- Reduce significativamente los costos de mantenimiento.

1.6 COMPATIBILIDAD POLIMERO – ASFALTO

Ya hemos visto que el objetivo de utilizar polímeros es el de mejorar las características del asfalto y por lo tanto de manera general incrementar la vida útil del pavimento. Por lo tanto debemos conocer perfectamente las condiciones en las cuales va a "trabajar" el pavimento, lo que se determinará a través de un estudio minucioso de clima, cargas, temperaturas, etc. Igualmente las características del asfalto o ligante.

Una vez determinado lo indicado se procederá a recomendar el polímero más conveniente el mismo que debe ser totalmente compatible con el asfalto de tal manera que se mezclen sin que exista una separación de fases y no se llegue a una rotura del equilibrio coloidal del asfalto. Dicha compatibilidad depende del tipo de polímero de la composición química del asfalto y su proceso de preparación.

Es bueno tener en cuenta que el no cumplimiento de esta necesidad de compatibilidad, nos puede llevar a producir mezclas asfálticas que en lugar de mejorar la calidad de los pavimentos pueden desmejorar sus condiciones originales, resultando pues la utilización de polímeros contraproducente y antieconómica.

1.7 PROPIEDADES DE LOS LIGANTES Y MEZCLAS ASFÁLTICAS

Aunque en una mezcla asfáltica, el asfalto sea minoritario en proporción, sus propiedades pueden influir de manera significativa en su comportamiento. El tipo de mezcla será el que, en gran medida, determine la contribución hecha por el ligante sobre todo el conjunto.

Por lo tanto, se debe tener en cuenta que a altas temperaturas de servicio, puede que el ligante llegue a reblandecerse, facilitando la deformación de la mezcla (ahuellamiento). El riesgo de aparición de estas deformaciones es aún mayor en pavimentos sometidos a la circulación de vehículos pesados. De manera generalizada y sin tener en cuenta otros factores que pueden influir, se puede disminuir la probabilidad de aparición de estas deformaciones aumentando la rigidez del ligante mediante el empleo de un asfalto más duro.

Por otro lado a temperaturas de servicios bajas, el ligante se vuelve relativamente rígido y va perdiendo poder de resistencia a las tensiones, volviéndose frágil y siendo susceptible de fisuraciones. El grado de susceptibilidad a la fisuración está relacionado con la dureza del asfalto y su capacidad para absorber las sollicitaciones inducida por el tráfico. Disminuyendo la dureza del asfalto, se minimizará el riesgo de fallo por fragilidad.

Entonces, debido a lo dicho precedentemente a la hora de buscar comportamientos globales satisfactorios de la mezclas bituminosas, la elección del asfalto adecuado para cada tipo de mezclas se vuelve un compromiso entre ambos extremos; ahuellamiento a altas temperaturas y fisuramiento por fragilidad térmica a bajas

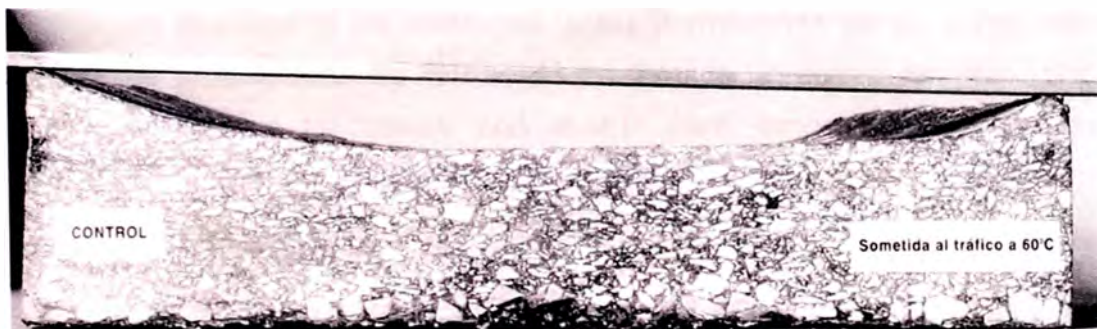
temperaturas. Donde mejorando el comportamiento a altas temperaturas, se influye negativamente en el comportamiento a bajas temperaturas.

1.8 VENTAJAS DE LAS MEZCLAS EN SERVICIO

Los asfaltos modificados se deben aplicar, en aquellos casos específicos en que las propiedades de los ligantes tradicionales son insuficientes para cumplir con éxito la función para la cual fueron encomendados, es decir, en mezclas para pavimentos que están sometidos a solicitudes excesivas, ya sea por el tránsito o por otras causas como: temperaturas extremas, agentes atmosféricos, tipología del firme, etc. Si bien los polímeros modifican las propiedades reológicas de los asfaltos, estos deben mostrar ventajas en servicio; los campos de aplicación más frecuentes son:

- Mezclas drenantes: las mezclas drenantes tienen un porcentaje muy elevado de huecos en mezcla (superior al 20%) y una proporción de árido fino muy baja (inferior al 20%), por lo que el ligante debe tener una muy buena cohesión para evitar la disgregación de la mezcla. Además el ligante necesita una elevada viscosidad para proporcionar una película de ligante gruesa envolviendo los áridos y evitar los efectos perjudiciales del envejecimiento y de la acción del agua (dado a que este tipo de mezclas es muy abierta).
- Mezclas resistentes y rugosas para capas delgadas: La utilización de polímeros en este tipo de mezclas es para aumentar la durabilidad de las mezclas. Estos tipos de mezclas de pequeño espesor surgen dada a la rapidez de aplicación, lo que reduce al mínimo los tiempos de cortes de tráfico. Estas se utilizan para trabajos de conservación de rutas y vías urbanas, que exigen mezclas con alta resistencia y con una buena textura superficial. La resistencia de estas mezclas se consigue con áridos de buena calidad, elevado porcentaje de filler (8 a 10%) y un asfalto modificado con polímeros.

- En este tipo de mezclas es de vital importancia la adherencias con la capa subyacente (esta también influye en la durabilidad). Estas también deben ser resistentes, para soportar la acción del tránsito y el desprendimiento de los áridos. Estas mezclas son denominadas también microaglomerados y tienen espesores menores a los 30 mm.
- Mezclas densas: Para la aplicaciones en las cuales se deban soportar tráfico intenso la mezcla bituminosa debe ser resistente al ahuellamiento. Al mismo tiempo, el material debe poder ser mezclado, extendido y compactado a temperaturas normales y no se debe volver frágil cuando la temperatura del pavimento descienda.



Muestra de mezcla asfáltica convencional.



Muestra de mezcla asfáltica modificada con polímeros.

Como puede observarse existe una gran diferencia entre los resultados obtenidos sobre una muestra de mezcla asfáltica convencional y otra con

una mezcla asfáltica modificada con polímeros, la mezcla modificada puede hacer frente al ahuellamiento con una marcada diferencia sobre la otra muestra.

- Tratamientos superficiales mediante el riego con gravilla: los A.M.P y las emulsiones con ellos fabricadas, son adecuados para riegos en vías de fuerte intensidad de tráfico y/o en zonas climáticas de temperaturas extremas, porque el ligante debe tener una buena cohesión en un amplio intervalo de temperatura y una buena susceptibilidad térmica, con el fin de evitar exudación del ligante durante el verano, así como la pérdida de gravilla en el invierno.
- Membrana absorbente de tensiones: estas membranas tienen como misión retardar la propagación de fisuras de un firme a un nuevo refuerzo, por lo que deben estar fabricadas con A.M.P para tener buena resistencia mecánica, resiliencia y flexibilidad para absorber las tensiones provocadas por el movimiento de las fisuras del firme.

CAPITULO II
Las Mezclas Asfálticas Drenantes

CAPITULO II

Las Mezclas Asfálticas Drenantes

2.1. INTRODUCCIÓN

Los problemas mas frecuentes en tiempos de lluvia que se producen son la pérdida de adherencia entre el neumático y el pavimento y la disminución de visibilidad del conductor, ambos provocados como consecuencia de la capa de agua que queda en la superficie. La pérdida de adherencia deja al conductor con poco control de su vehículo impidiéndole maniobrar en forma segura; si a esto le agregamos el agua que proyectan los vehículos a su paso y la neblina que se forma en la parte de atrás de los vehículos de gran tamaño hacen de la conducción en días lluviosos una actividad poco confortable e insegura.

Para evitar estos problemas se necesita que el agua que cae en la superficie, sea evacuada rápidamente y esto se alcanzará con el uso de las mezclas Drenantes.

Las Mezclas Drenantes o porosas son mezclas asfálticas utilizadas como carpeta de rodado, que se caracterizan por tener un elevado porcentaje de huecos interconectados entre si (18 a 25%).

Este elevado porcentaje de huecos se logra mediante el uso de una granulometría especial: un alto porcentaje de áridos gruesos (alrededor del 85%), poco fino y aporte de filler. Por lo tanto este elevado porcentaje de huecos permite el paso del agua superficial a través de la mezcla y su rápida evacuación hacia las zonas laterales fuera de la calzada, lo que impide que se forme una capa de agua en la superficie del camino cuando llueve.

Estas mezclas drenantes requieren se aseguren su durabilidad, la cual depende del tipo , espesor de película y porcentaje de ligante ya que estas al carecer de suficientes partículas finas, el ligante es el que mayormente debe cohesionar la estructura mineral, para ello se requiere una película gruesa de ligante para aumentar la resistencia al envejecimiento y una buena adherencia del asfalto con el pétreo en presencia de agua.

El uso de las mezclas porosas cambia radicalmente el concepto tradicional de una carpeta de "rodado impermeable" traspasando la función de proteger de los efectos negativos del agua a la capa subyacente. Esta deberá ser impermeable y con un buen diseño geométrico que asegure el escurrimiento del agua a los drenes laterales y no se infiltre a capas inferiores del camino.

2.2 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LAS MEZCLAS DRENANTES

Con el afán por mejorar el estándar de los caminos, el Laboratorio Nacional de Viabilidad en Chile participa activamente en Proyectos de Innovación y transferencia Tecnológica aportando con su experiencia y apoyo técnico en búsqueda de nuevos procedimientos, métodos y materiales para las obras viales.

En este sentido en el presente Capítulo se mencionaran las exigencias que deben cumplir los materiales que corresponden a la Metodología de Diseño y Colocación de Mezclas Drenantes que se encuentran publicadas en el Manual de Carreteras Volumen 5.

2.2.1 Componentes de la Mezcla

Como en el resto de las Mezclas bituminosas, los componentes básicos de las Mezclas Drenantes son los agregados y el ligante bituminoso. En ocasiones, a estos componentes básicos se añaden otro tipo de productos, denominados aditivos, con los que se pretende mejorar alguna de las características de la Mezcla : adhesividad, superficie específica, etc. En particular, se suele emplear fibras para permitir aumentar el contenido y la calidad del mastico filler, asfalto.

Frecuentemente cuando se buscan Mezclas con un contenido de vacíos inicial superior al 20%, se emplean ligantes modificados mediante el uso de distintos tipos de polímeros.

2.2.1.1 Asfalto:

En general, la modificación del betún por adición de polímeros supone una mejora de las características propias del ligante. Suele aumentarse de forma sensible el intervalo de temperaturas comprendido entre el punto de fragilidad Fraass y el punto de reblandecimiento (Anillo y Bola), así como el índice de penetración. Es decir se mejora el comportamiento reológico del ligante.

Por lo tanto Los Asfaltos para Mezclas Drenantes serán cementos asfálticos modificados con elastómero de penetración 60/80 que cumplan con los requisitos de la Tabla N° 1.

Tabla N° 1.

Cemento Asfáltico Modificado con Elastómero

ENSAYO	EXIGENCIA
Penetración a 25°C, 100 g, 5 seg., 0,1 cm	60 – 80
Punto de Ablandamiento (°C)	Mín. 75
Ductilidad a 5°C, 5 cm/mín. (cm)	Mín. 60
Ductilidad a 25°C, 5 cm/mín. (cm)	Mín. 100
Índice de Penetración	Mín. +4
Punto de Quiebre Fraass (°C)	Máx. -18
Intervalo de Plasticidad (°C)	Mín. 93
Recuperación Elástica (%)	Mín. 60
Viscosidad a 135°C (cst)	800 – 1400
Viscosidad a 150°C (cst)	400 – 700
Viscosidad a 170°C (cst)	150 – 300

2.2.1.2 Áridos

Los áridos deberán clasificarse y acopiarse separados en al menos tres fracciones gruesa, fina y polvo mineral (filler). Las distintas fracciones deberán ajustarse a los siguientes requisitos:

Requisitos Fracción Gruesa:

Deberá estar constituido por partículas chancadas, limpias y tenaces (retenido por el tamiz de 2.5 mm) que se ajustan a los requisitos que se indican en Tabla N° 2

Tabla N° 2

Requisitos para la Fracción Gruesa

ENSAYO	EXIGENCIA (%)	METODO
Desgaste Los Ángeles	Máx. 20	LNV - 75
Partículas Chancadas (1)	Mín. 98	LNV - 3
Adherencia Método Estático	Mín. 95	LNV - 9
Porcentaje de Laja	Máx. 10	LNV - 3
Índice de Laja	Máx. 25	LNV - 3

(1) El árido será material resultante de la trituración de roca, en que la fracción chancada tendrá mínimo tres caras fracturadas.

Requisitos Fracción Fina:

Pasa por el tamiz 2.5 mm. y es retenido por el de 0.80 mm.

Tabla N° 3

Requisitos para la Fracción Fina

ENSAYO	EXIGENCIA	METODO
Índice de Plasticidad	N.P.	LNV – 90
Desgaste Los Ángeles	Máx. 20	LNV - 75
Adherencia Ridel-Weber	Mín. 0 - 5	LNV – 10

Requisitos Fracción Filler:

Deberá ser constituido por polvo mineral fino tal como cemento hidráulico, cal u otro material inerte de origen calizo, libre de materia orgánica y partículas de arcilla.

El Filler total deberá estar formado por un mínimo de 50% de aportación y el porcentaje restante proveniente del árido.

La densidad aparente del polvo mineral, deberá estar comprendida entre 0.50 y 0.8 gr/cm³.

El coeficiente de emulsibilidad será inferior a 0.6.

Únicamente se permitirá el empleo de polvo mineral de recuperación para los tráfico ligeros. Para los tráfico medios y pesados, el polvo mineral será de aportación.

2.2.2 Mezcla de Áridos:

Las distintas fracciones de áridos deberán combinarse en proporciones tales que la Mezcla resultante cumpla con una de las bandas indicados en la Tabla N° 4.

Tabla N° 4

Requisitos para áridos combinados

ENSAYO	EXIGENCIA(%)	METODO
Sales solubles	Máx. 3	LNV – 8
Equivalente de Arena	Mín. 50	LNV - 71

Las distintas fracciones de áridos deberán combinarse en proporciones tales que la mezcla resultante cumpla con una de las bandas granulométricas especificadas en la Tabla N° 5, denominadas PA – 10 y PA -12.

Tabla N° 5

Bandas Granulométricas

TAMIZ (mm.)	TAMIZ ASTM	PA - 10	PA - 12
20	¾"	-	100
12,5	½"	100	70 - 100
10	3/8"	70 – 90	50 - 80
5	N° 4	15 – 30	15 - 30
2,5	N° 8	10 – 22	10 - 22
0,63	N° 30	6 – 13	6 - 13
0,080	N° 200	3 - 5	3 – 6

En la práctica habitual, se busca que la curva granulométrica se encaje en el huso PA – 12 con el que se obtienen mezclas de mayor porosidad.

Por otro lado, en la mayor parte de los casos las mezclas bituminosas se emplean en capas de 4 cm. de espesor y, por ello, el tamaño máximo de agregado utilizado suele ser el menor de los admitidos por el huso, es decir, 12.5 mm. Únicamente cuando se fabrican mezclas para ser empleadas en capas de 5 o 6 cm. de espesor se recurre al empleo de agregados de hasta 20 mm. de tamaño máximo.

2.2.3 Riego de Liga :

Se aplicará como riego de liga una emulsión modificada con elastómero, de modo de conseguir una mayor impermeabilización de la capa subyacente y una adecuada adherencia entre esa superficie y la capa que la cubrirá.

Las emulsiones que se emplea como riego de liga serán modificadas con elastómero de quiebre lento sin diluir. El control de riego será a razón de una muestra cada 250 m. lineales por pista.

La dotación de ligante residual a emplear en el riego de adherencia será:

SUPERFICIE SOPORTANTE	DOSIS MINIMA
Mezcla bituminosa recientemente extendida.	0,3 - 0,40 kg/m ²
Mezcla bituminosa antigua en buenas condiciones.	0,35- 0,50 kg/m ²
Mezcla bituminosa envejecida con presencia de microfisuración.	0,5 - 0,60 kg/m ²
Mezcla bituminosa fisurada (previo sellado de grietas)	0,6 – 0,8 kg/m ²

2.3 DISEÑO DE LAS MEZCLAS DRENANTES

Los métodos de diseño mas comunes, tales como Marshall, Compresión sin confinar, Hveem, Hubbard Field y el de Tensión Indirecta, no son apropiados para dosificar y

caracterizar una mezcla drenante, pues estos no son capaces de valorar la resistencia a la disgregación de la mezcla ante los efectos abrasivos de bombeo y de succión del agua debidos al tráfico, y también, la valoración del comportamiento de estas mezclas trabajando en presencia de agua en su interior por períodos considerables de tiempo, característica ésta de enorme importancia.

Por lo tanto, el diseño de mezclas porosas se basa fundamentalmente en dos criterios: resistencia a la disgregación y permeabilidad. Normalmente para mejorar la cohesión y evitar la disgregación de una mezcla se debe aumentar su contenido en finos y ligante, pero, por otra parte, si se desea aumentar la permeabilidad y porosidad se tendrá que incrementar el porcentaje de gruesos y reducir la fracción fina. El diseño de la mezcla drenante buscará entonces solucionar esta problemática logrando el máximo contenido de huecos posible compatible con una buena resistencia a las cargas del tráfico sin disgregar, mediante el uso de áridos y asfalto de mejor calidad, una granulometría especial y una dosificación en laboratorio adecuada.

La mezcla será diseñada utilizando el Método "Cantabro". El contenido de ligante se dosificará de acuerdo con los criterios de la Tabla N° 6.

Tabla N° 6

CARACTERISTICAS	EXIGENCIA (%)	ENSAYOS	NORMAS
% Desgaste seco a 25°C	Máx. 20	Cántabro Seco	NLT - 352
% Desgaste húmedo a 25°C	Máx. 30	Cántabro húmedo	NLT - 362
% Huecos	Mín. 20	% Huecos	LNV - 46
% Escurrimiento	Máx 3	Escurrimiento	NLT - 365
Tiempo de evacuación	Máx 30 seg	Permeabilidad	NLT - 327

% Asfalto	Mín. 4 – Máx. 5		
-----------	-----------------	--	--

2.4 PROPIEDADES DE LA CARPETA DRENANTE

Las propiedades esenciales que debe tener la carpeta drenante tipo Open Grade y para las cuales la metodología debe atender lograr un buen diseño, son:

- a) Resistencia al deslizamiento
- b) Alta permeabilidad
- c) Resistencia a la disgregación, tanto en seco como en húmedo
- d) Resistencia a la deformación plástica

2.4.1 Resistencia al Deslizamiento

Es una propiedad importante, pues la carencia de él, por pulimento de los agregados y el efecto combinado de la velocidad, convierte la superficie de rodamiento en un elemento muy peligroso para la operación de la vía, en ocasiones de consecuencias fatales para los usuarios. Esto es importante porque la resistencia al deslizamiento, no solo es la causa principal de muchos accidentes sino también, porque puede afectar a la severidad de los accidentes provocados por otras causas.

Una superficie de rodamiento tiene resistencia al deslizamiento siempre y cuando tenga las siguientes condiciones (1) :

- a) Las áreas de contacto de las llantas debe tener una textura lo suficientemente marcada.
- b) La superficie de rodamiento debe tener alta permeabilidad.
- c) Resistencia a la abrasión y al pulimento.

La primera condición es responsabilidad del usuario, mientras que las otras dos dependen del proyectista. La alta permeabilidad se puede condicionar con un elevado

contenido de vacíos para permitir la rápida evacuación de las aguas superficiales mejorando la adherencia llanta-pavimento, eliminando el fenómeno de “Acuaplaneo”.

La abrasión se presenta cuando una superficie de rodamiento está sujeta al impacto de las cargas de tránsito lo cual provoca una rotura progresiva de las partículas expuestas, al final de este proceso, se pierde la calidad de la textura. Para medir la resistencia a la rotura de las partículas minerales se emplea la prueba de desgaste Los Ángeles.

El pulimento se presenta al pasar la rueda ayudándose con el polvo que sirve de abrasivo desgastando las pequeñas salientes y asperezas de las partículas. El agua favorece el pulimento al facilitar el movimiento del polvo abrasivo. La acción de pulimento, que ejercen las llantas, hacen disminuir o desaparecer estas irregularidades, alcanzándose un alto grado de lisura superficial que facilita el deslizamiento y dificulta la acción de frenado y la conducción de los vehículos.

Por lo regular, las rocas formadas de minerales de durezas diferentes y las rocas compuestas de granos minerales fácilmente desprendibles de una matriz blanda, tienen una resistencia al pulimento alta. Contrariamente, las rocas compuestas por minerales que tienen la misma o parecida dureza se desgastan uniformemente y tienen baja resistencia al pulimento.

Sobre éste tema, Inglaterra realizó un estudio sobre 134 diferentes bancos de materiales para establecer una clasificación de rocas según su actitud al pulimento, el cual pone en evidencia que las rocas calizas no son adecuadas para utilizarse en superficies de rodamiento, pues, por lo general, son deslizantes (2).

Este señalamiento es de suma utilidad para los proyectistas y constructores, los cuales excluirán, de sus especificaciones y trabajos de construcción de superficies de rodamiento, la utilización de las calizas. G. Jeuffroy recomienda el uso de basaltos, garbos, granitos, pórfidos, areniscas y cuarcitas. Otras publicaciones Mexicanas recomiendan también el empleo de basaltos, andesitas y granitos, todos estos pétreos de origen volcánico, pues como se verá en la siguiente tabla, sus valores de pulimento acelerado son superiores al 32% mínimo especificado.

PRUEBA	ROCA DE ORIGEN			
	BASALTO	ANDESITA	GRANITO	CALIZA
Desgaste Los Ángeles, especific., 30% Máx.	14 - 20%	15 - 30 %	17 - 28 %	12 - 29 %
Pulimento acelerado Especific., 32% Min.	35 - 53	-	35 - 47	24 -31

Hay que aclarar que un esqueleto mineral esta formado generalmente por grava, arena y en ocasiones, filler pues bien, el material al que nos referimos no se emplee, es a la grava , misma que esta comprendida entre las mallas de 19.0 mm. y 4.75 mm.

En muchas ocasiones se utiliza arena de tipo calizo para cumplir con la granulometría de una carpeta tipo Open Grade, pero este material no es el que está en contacto con la llanta, sino mas bien, es el que forma, junto con el cemento asfáltico y el filler, el mortero que junta la grava.

2.4.2 Alta Permeabilidad

La permeabilidad deseada que garantice una drenabilidad mínima que admita el desalojo del agua a través de los huecos intersticiales de la mezcla y que, al mismo tiempo, tenga una buena estabilidad sin riesgos de deformaciones, se consigue, en la práctica, mediante la prescripción de granulometrías con la menor proporción posible de agregado pétreo fino que permitan significativos contenidos de ligante asfáltico, capaces de cubrir las partículas pétreas con una película gruesa que no demeriten, a la vez, la función de su rozamiento interno entre los granos.

La necesidad de la película gruesa de asfalto es mejorar la adhesividad frente al agua a fin de aumentar la resistencia al envejecimiento, incrementando la resistencia a la fatiga y por ende, su durabilidad.

2.4.3 Resistencia a la Disgregación tanto Seco como en Húmedo.

La resistencia a la disgregación depende de la cohesión y adhesividad que puede proporcionar el ligante asfáltico, propiedades fundamentales que se pueden apreciar mediante el método de prueba Cantabro de Pérdidas por Desgaste, tanto en seco

como tras inmersión en agua, pruebas que persiguen estudiar el comportamiento que tendrá la carpeta en su función de trabajo. En España, estas variantes, están clasificadas como NLT – 352/Y86 y NLT – 362/92, respectivamente.

El ensayo Cántabro, no determina ningún parámetro fundamental de la mezcla como podría ser el ángulo de rozamiento, pero si da una idea clara de la capacidad del ligante para mantener unidos los pétreos de la mezcla. Cuando éstas uniones son dúctiles y tenaces, las pérdidas son bajas y cuando se convierten en frágiles o poco consistentes las pérdidas aumentan.

La propiedad del cemento asfáltico de poder envolver adecuadamente al material pétreo y la capacidad del cemento asfáltico de mantenerse adherido bajo la presencia de agua, se conocen como adhesividad activa y adhesividad pasiva, respectivamente (3).

2.4.4 Resistencia a la Deformación Plástica

Para diseñar una mezcla de graduación abierta a la resistencia contra la deformación plástica excesiva, existe una prueba de comportamiento denominada “ Resistencia a la Deformación Plástica de las Mezclas Asfálticas, mediante la Pista de Ensayo de Laboratorio “, Norma clasificada en España como NLT-173/84.

La prueba de ensayo de pista tiene las siguientes condiciones de ensayo.

Carga aplicada	90 kg
Presión de contacto de la rueda	9 kg/cm ²
Frecuencia de aplicación de la rueda	42 pasos/min
Duración del ensayo	120 min.
Temperatura de ensayo	60° C

En teoría, y por no contar con la experiencia en este tipo de prueba necesaria, ya que a la de deformación por tensión indirecta en la que no está simulado el efecto del paso de llanta no se puede calificar como prueba de comportamiento. Es del conocimiento

general que una mezcla elaborada con cemento asfáltico con polímero se deforma menos (hasta cuatro veces menos) en relación con una que no lo tiene, en consecuencia lógica de sus distintas reologías y susceptibilidades térmicas.

2.5 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE LA MEZCLA

2.5.1 Aspectos generales sobre la fabricación de la mezcla:

La mezcla drenante se fabricará en planta en caliente. La temperatura de fabricación estará determinada por la viscosidad del cemento asfáltico.

Para obtener una buena regulación en la alimentación es conveniente analizar la granulometría real presente de cada árido de silos en caliente y proceder a la corrección de la dosificación correspondiente.

Cuando se dosifiquen las diferentes fracciones del árido habrá que tener en consideración:

- a) La menor densidad de las mezclas drenantes frente a las convencionales y, por lo tanto el menor peso unitario por cada mezclada admisible.
- b) La escasez de fino, ya que ésta hace que los termómetros proporcionen lecturas de la temperatura inferiores a las reales, lo que puede llevar a sobrecalentar peligrosamente los áridos.

Se debe tener estricto control de la temperatura de fabricación debido a que éste tipo de mezcla es más susceptible al escurrimiento de ligante que una mezcla tradicional. Si bien la temperatura de mezclado y compactación la proporciona la asfaltera para asfaltos elastómericos. La temperatura de los áridos se fija en función de la temperatura del ligante y la temperatura final para la mezcla se fija siguiendo criterios convencionales, pero teniendo en cuenta el bajo contenido de arena conviene reducir lo más posible el diferencial entre la temperatura del betún y la temperatura de los áridos para evitar problemas ligados a choques térmicos.

El tiempo de mezclado será igual o inferior al tradicional.

2.5.2 Transporte y Colocación de la Mezcla

Transporte:

El mayor riesgo de que se produzca escurrimiento de ligante y la menor inercia térmica de las mezclas drenantes respecto a una tradicional determinan las siguientes consideraciones de carácter obligatorio:

- El tiempo de transporte de la mezcla debe ser menor a 2 horas.
- Los camiones deben estar cubiertos con lonas o algún material que asegure un buen aislamiento térmico de la mezcla con el medio ambiente.

Preparación de la superficie existente:

La mezcla drenante deberá ser puesta en obra sobre una superficie impermeable libre de fisuras y con una planimetría que asegure la evacuación de agua hacia los bordes. Además, debido a la menor superficie de contacto de estas mezclas, se prestará especial atención a la aplicación sobre la capa soportante, de riegos de adherencia con las dotaciones mínimas de ligante residual, señaladas en el párrafo anterior.

2.5.3 Compactación de la Mezcla :

La compactación deberá realizarse con dos rodillos metálicos de 8 a 12 toneladas de peso sin vibración, para evitar cambio de granulometría en los áridos. Es conveniente que los rodillos sigan de cerca la extendedora.

Los tiempos disponibles para la compactación de la mezcla drenante son menores que en una tradicional.

La temperatura mínima de compactación depende del ligante empleado. La puesta en obra en tiempo frío especialmente con viento fuerte, es poco aconsejable por la rapidez con que se enfrían las mezclas drenantes.

Para asegurar un número suficiente de pasadas normalmente el mínimo suele ser 4 cuando la producción esperada sea superior a 100 ton/h, usar 2 rodillos. En todo caso, se recomienda siempre un rodillo de reserva.

No se deben emplear compactadores de neumáticos porque se adhieren con facilidad a la mezcla y provocan arrancamiento de gravilla. Además, al tener un efecto de amasado superficial de la mezcla provocan una disminución de huecos en la parte superior.

Por el hecho de que la temperatura de la mezcla baja rápidamente una vez colocada, evitar los retoques y reparaciones localizadas.

La vibración suele ser conveniente únicamente en las juntas (usar rodillo manual metálico vibrador).

La temperatura ambiental de colocación no debe ser inferior a 10°C, sin viento. No se debe colocar la mezcla drenante con lluvia.

2.5.4 Tratamiento de juntas.

Las juntas deben tratarse con cuidado. Siempre que sea posible, se extenderá a todo el ancho para evitar las juntas longitudinales. El corte de las juntas debe realizarse de forma que no se produzcan barreras a la salida del agua, lo que provocaría afloramiento en dichas zona. Cuando lo anterior no sea posible éstas deben coincidir con las líneas de separación de pistas. En ningún caso debe coincidir con las bandas de rodadura.

Terminar lo más rápido posible las juntas para evitar su degradación por el paso de los equipos de trabajo o el tráfico en general. Evitar las juntas transversales en zonas de pendiente.

Los tramos cóncavos del perfil longitudinal deben estudiarse para evitar el afloramiento en los puntos bajos (conviene aumentar el espesor de la mezcla en el valle y disponer de sistemas para asegurar la evacuación del agua).

2.5.5 Control de Calidad:

El control de las mezclas porosas sigue una pauta similar al de otros tipos de mezcla.

- 1) Control en Planta.
 - Características de los áridos

-
- Características de los ligantes
 - Granulometría
 - Contenido de ligante
 - Temperatura de fabricación de la mezcla
- 2) Cancha de prueba.
 - 3) Ejecución de la obra:
 - Temperatura de compactación
 - Nº de pasadas de equipos de compactación
 - 4) Mezcla colocada:
 - Espesor de la capa
 - Densidad/ contenido de huecos

Cancha de Prueba:

La determinación de la densidad y el contenido de huecos de referencia para el control debe realizarse en una cancha de pruebas de 20 metros de longitud como mínimo.

En esta cancha se determinará la densidad y el contenido de huecos de referencia para el control del tramo. Para ello, se realizarán medidas de evacuación del agua mediante permeámetro y en los mismos puntos se extraerán testigos sobre los que se determinará el volumen mediante medida geométrica y el contenido de huecos. Estas medidas deben realizarse sobre zonas con distintos niveles de compactación (2, 3, o 4 dobles pasadas del rodillo metálico), a objeto de establecer la relación entre el nivel de compactación y la densidad.

En definitiva, se deberá establecer en esta cancha una correlación entre el número de pasadas del compactador, mediciones realizadas con el permeámetro y el porcentaje de huecos, de forma que durante la ejecución de la carpeta las mediciones con el permeámetro, puedan ser utilizadas como método de control.

En el control de densidad, se tendrá como referencia la densidad obtenida en el Diseño Cántabro. Se acepta hasta un 2% de diferencia en el contenido de huecos entre cara bien compactada y el de las probetas del laboratorio.

Consideraciones para el control de calidad.

- a) Puede existir una marcada dispersión en las mediciones de permeabilidad y de determinación del volumen por medida geométrica, por lo tanto es conveniente tomar bastantes puntos para establecer correctamente los valores medios (cancha de prueba)
- b) Antes de hacer mediciones con el permeámetro, regar previamente la zona en la que se van a efectuar las mediciones.
- c) La obtención de tiempo o caudales de evacuación mayores a los esperados en el tramo es un indicador de un defecto en la compactación y en modo alguno representa una mejora al comportamiento de la mezcla.
- d) Se debe reponer con mezcla densa los lugares donde se extrajeron los testigos.
- e) La capa de mezcla drenante debe ejecutarse una vez que se hayan terminado todas las operaciones complementarias, excepto la pintura, para evitar deterioros localizados provocados por los propios equipos.

Control a la obra ejecutada.

El control de la obra ejecutada es mediante el análisis de testigos, cuya extracción se hará a razón de uno cada 1750 m² o fracción de pavimento. En ellos se determinará su espesor, su densidad mediante la determinación geométrica de su volumen y su porcentaje de huecos.

2.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS MEZCLAS DRENANTES

VENTAJAS DE LAS MEZCLAS DRENANTES

Eliminación del hidroplaneo:

Uno de los mayores riesgos cuando se conduce con lluvia es el hidroplaneo, esto es, la capa de agua que se forma entre el neumático y el pavimento rompe el contacto entre ambos, el neumático "flota en el agua" de modo que el conductor pierde el control de su vehículo. Esto es conocido como <<hidroplaneo>>. La evacuación rápida del agua de la superficie del camino a través de la mezcla porosa impide que se produzca este fenómeno.

Resistencia al deslizamiento con pavimento mojado a alta velocidad:

Aún cuando no exista el hidroplaneo, la lluvia puede reducir considerablemente la resistencia al deslizamiento de la superficie del camino. Los asfaltos porosos pueden contrarrestar este efecto permitiendo, debido a su macrotextura, que exista rozamiento entre el neumático y la superficie de rodadura de modo que el vehículo realice los movimientos que desea el conductor logrando así una mayor seguridad (menores distancia de frenado).

Aumento de la visibilidad por la reducción de las proyecciones de agua

Estas mezclas al permitir mantener la superficie del pavimento libre de agua cuando está lloviendo impiden que se produzcan el levantamiento ('splash') y pulverización ('spray') del agua al paso de los vehículos mejorando notablemente la visibilidad del usuario.

Menor deslumbramiento por los faros de los vehículos.

Los conductores que circulan en dirección contraria durante la noche se ven enfrentados al deslumbramiento debido a la reflexión de la luz en los pavimentos mojados tradicionales (superficie lisa), en cambio, los pavimentos de textura rugosa dispersan la luz y por lo tanto reducen el problema de deslumbramiento permitiendo al conductor ver mejor la señalización horizontal.

Reducción del ruido al paso del vehículo

Las mezclas drenantes tienen la capacidad de absorber los ruidos provocados principalmente por el contacto que se produce entre el neumático y el pavimento cuando el vehículo está en movimiento. Los huecos interconectados entre sí permiten el paso del aire, atenuando los efectos sonoros. Tanto el conductor, como el entorno, se ven favorecidos por ésta reducción.

DESVENTAJAS DE LAS MEZCLAS DRENANTES

Mayor costo inicial

Las mezclas deben construirse con asfaltos modificados y áridos de mejor calidad que encarecen los costos.

Diseño Geométrico Riguroso

La mezcla se debe extender sobre una capa que sea impermeable, estructuralmente estable, y además, que tenga una geometría tal que permita la evacuación del agua.

Drenaje lateral

El agua que ha escurrido por la mezcla drenante debe ser evacuada a través de drenes laterales, esto implica la construcción de canales y otras obras de arte.

Pérdida de drenabilidad

Las mezclas porosas en el transcurso de su vida útil pueden colmatarse por la acumulación de polvo y otros agentes contaminantes como arena, materia orgánica, etc. entre los huecos. Es importante señalar que, si bien pierde sus propiedades drenantes, seguirá funcionando como carpeta de rodado. Actualmente existen técnicas de lavado a presión que pueden limpiar las mezclas retardando su colmatación.

2.7 MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LA CARPETA DRENANTE

El problema de éstas mezclas reside en su rápida colmatación por suciedad, con la consiguiente disminución de su utilidad. Es aquí en donde la vida útil toma un aspecto de máxima importancia .

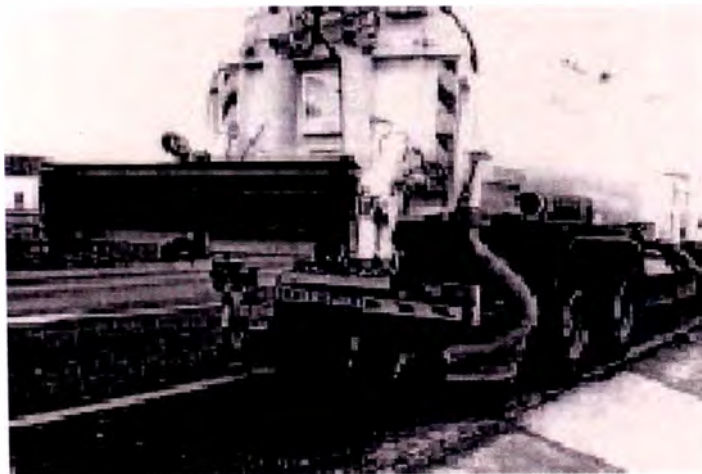
Los factores que influyen en la colmatacion son :

- La cantidad de suciedad
- El tamaño y estructura de los huecos
- La pendiente transversal de la capa inferior de las mezclas drenantes
- La velocidad del tránsito y el efecto limpieza del mismo

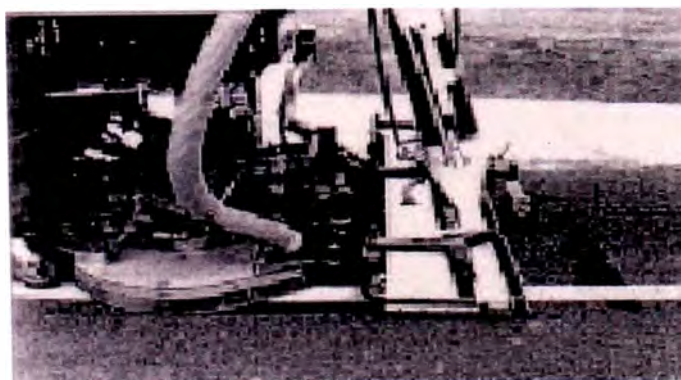
El mantenimiento para evitar dicho fenómeno se realiza con equipos especiales (provistos con aspiración o presión, ambos combinados con la acción del agua), en períodos de tiempo, según las necesidades, las recomendaciones son variadas y están basadas fundamentalmente en la experiencia, se recomienda en muchos casos, entre 6 y 36 meses, aunque en España hay pavimentos con mas de 10 años sin mantenimiento y se encuentran en perfecto estado, lo ideal seria realizar la limpieza una vez al año.

Varios son los dispositivos utilizados para las tareas de limpieza, en la mayoría de los casos se utilizan máquinas autopropulsadas con un equipo trasero de lavado y succión de alta potencia, con una anchura de 2.5m.

La suciedad se remueve y se logra sacar de los vacíos, gracias a un chorro a presión y se aspira inmediatamente junto con el agua, almacenándola en un depósito de la máquina. El equipo está cubierto para evitar escape de polvo o agua pulverizada durante el trabajo. La velocidad de la máquina se regula de acuerdo a la suciedad de la mezcla, función importante para la efectividad del trabajo final.



Maquina Autopropulsada de limpieza con sistema presión-aspiración



CAPITULO III
Aplicaciones de las
Mezclas Drenantes

CAPITULO III

Aplicaciones de Las Mezclas Drenantes

En éste capítulo se considera las diferentes experiencias realizadas con Mezclas Drenantes, su desarrollo, así como el comportamiento de los hormigones asfálticos Drenantes modificados cuyo estudio se viene realizando hasta la fecha en otros países. A continuación se detallan dichas experiencias en países como Chile, Argentina , Costa Rica.

- 3.1 CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA
DRENANTE CON ADICIÓN DE DESECHOS PLÁSTICOS MEDIANTE
TÉCNICAS DE BANCO DE FATIGA**
- F. A. Reyes, L. A. Mantilla. Grupo CECATA Universidad Javeriana**
- O. Reyes. Grupo Geotecnia Universidad Militar Nueva Granada**

3.1.1 RESUMEN

Este artículo describe la realización de ensayos dinámicos destructivos y no destructivos en el laboratorio sobre un material asfáltico drenante con adición de polietileno reciclado en tiras, proveniente de las bolsas de leche, a fin de determinar sus características y rango óptimo de temperaturas para su uso.

El material plástico es introducido en la mezcla asfáltica en el momento de mezclado del granular y el asfalto, en pedazos de aproximadamente 40mm x 50mm.

Los ensayos de módulo dinámico se realizaron a 10, 20 y 30°C y a 1.6, 2.5 y 5.0 Hz de frecuencia; las leyes de fatiga se ejecutaron para tres deformaciones diferentes y para las temperaturas de 15, 25 y 35°C. Los ensayos de ahuellamiento se realizaron por metodología LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Francia a 60 °C y a 42 r.p.m .

Los resultados principales obtenidos fueron los rangos óptimos de temperatura para el empleo del material, los porcentajes de mejoramiento en las propiedades reológicas y drenantes.

3.1.2. ENSAYOS REALIZADOS

Se verificaron las propiedades de una mezcla drenante de granulometría española PA-12 como se muestra en la Tabla 1, para la mezcla convencional y con adición de desechos plásticos, (la textura se aprecia en la Figura 1) las probetas fueron solicitadas en el banco de fatiga para 3 temperaturas: ambiente (+/- 15 °C), ambiente +10 °C y ambiente + 20 °C , y para cada temperatura se solicitaron a 3 amplitudes distintas : 90/, 150 y 210 centésimas de mm, fallando 8 probetas por punto (4 sin adición y 4 con adición de plástico). Siendo en total 96 probetas. El equipo de fatiga se ilustra en la figura 2.

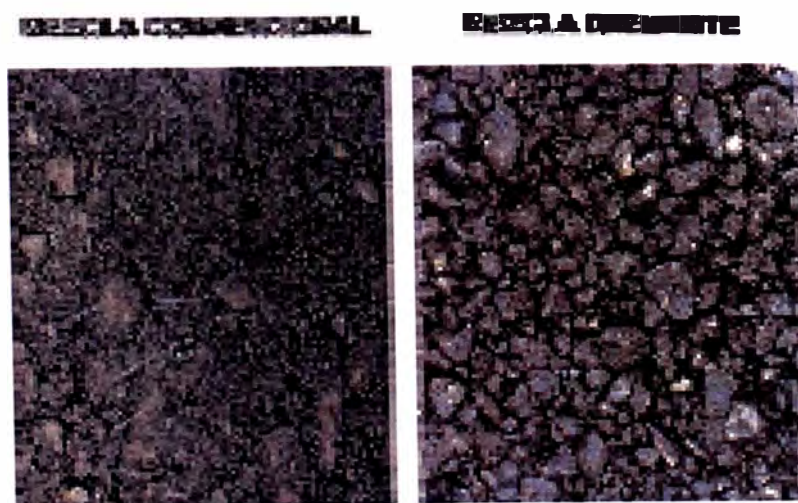


Figura 1. Textura de una mezcla convencional y una mezcla drenante



Figura 2. Equipo de Fatiga de Mezclas Asfálticas, con probetas trapezoidales

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA	PORCENTAJE RETENIDO
¾ "	100	0
½ "	90	10
3/8 "	65	25
No. 4	23	42
No. 10	16	7
No. 40	9	7
No. 200	3	6
Fondo	0	3

Tabla 1. Granulometría mezcla drenante PA-12 empleada.

Posteriormente se realizan pruebas de ahuellamiento en la máquina de tipo Wheel track según metodología del LCPC, verificando de nuevo las diferencias entre realizar o no la adición de las tiras plásticas. El ensayo se realiza a 60 °C con una presión de 0.662 MPa. El equipo se muestra en la figura 3.



Figura 3. Equipo Wheel track o de ahuellamiento

Igualmente se realizaron los ensayos de Módulos dinámicos en el tradicional equipo NAT Nottingham Asphalt Tester, equipo servo-hidráulico mostrado en el anexo N° 5, que fue desarrollado por Cooper Research Technology Limited en Inglaterra, consta de cuatro componentes principales: el marco de carga (A), el sistema hidráulico (B), el sistema de adquisición de datos y módulo de control (C), y la cámara de temperatura controlada (D).

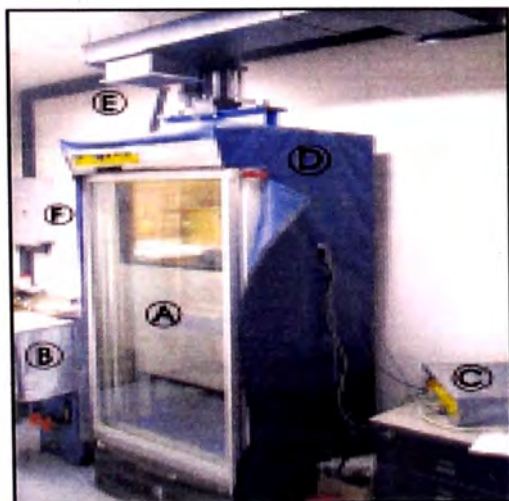


Figura 4. Equipo NAT Nottingham Asphalt Tester

3.1.3 PRINCIPALES RESULTADOS

3.1.3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Con el fin de llevar a cabo los objetivos, deberán ser realizados los ensayos normalizados por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) sobre el material pétreo y asfáltico, con el fin de lograr una fácil incursión del material a caracterizar; a los materiales granulares se les realizaron los ensayos de caracterización que se encuentran en la Tabla 2 y para el asfalto los ensayos que se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 2. Ensayos realizados sobre los materiales granulares.

Índice de alargamiento de agregados (I.N.V E-230)	25%
Índice de aplanamiento de agregados (I.N.V E-230)	29%
Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (I.N.V E-227)	78%
Ensayos de contenido de materia orgánica norma I.N.V. E-122	3,0%
Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles (NTC 98)	38, %
Peso específico agregado fino - método frasco de Chapman	2,44 (g/cm ³)
Peso específico y absorción agregado grueso (NTC 176)	2,57 (g/cm ³)

Tabla 3. Ensayos realizados sobre el material asfáltico.

ENSAYO	VALOR OBTENIDO
Peso Específico a 25°C / 25°C	1,022
Penetración, 100 g, 5 s., a 25°C, (0,1 mm)	89
Punto de chispa, (°C)	215
Ductilidad a 25°C, (cm)	>150
Punto de ablandamiento (Anillo y bola) (°C)	50.5
Viscosidad cinemática, 135°C, (cSt)	270

3.1.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON Y SIN ADICIONES DE PLÁSTICO

Se realizó el diseño de la mezcla asfáltica drenante convencional y con adiciones hasta el 0.6% de desecho plástico por la metodología Marshall teniendo en cuenta 5 porcentajes distintos de asfalto (4.5%, 5%, 5.5% 6% y 6.5) obteniéndose que el porcentaje óptimo tanto en estabilidad como en flujo fue de 6% de contenido de asfalto. Sin embargo dado el carácter de la mezcla drenante se procedió a realizar

un ensayo más significativo que es el ensayo Cantabro para el cual se obtuvo un porcentaje óptimo de 5.8%, tal como se ilustra en la Figura 5.

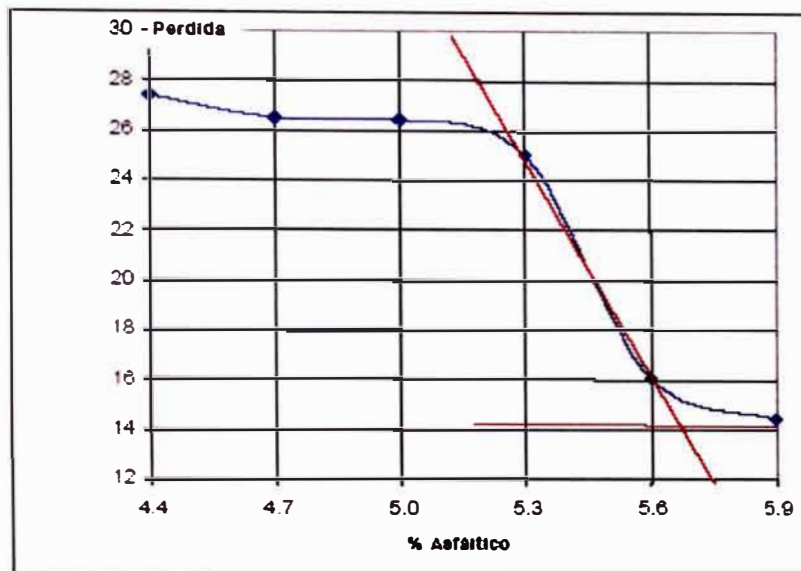


Figura 5. Resultados del óptimo de contenido de asfalto según el ensayo de Cantabro.

PERMEABILIDAD

Para verificar las incidencias en la capacidad drenante de la adición de plástico se realizó el ensayo de permeabilidad de las mezclas asfálticas. Este ensayo permitió determinar el coeficiente de permeabilidad para el flujo laminar de agua a través de la mezcla asfáltica abierta, obteniéndose los siguientes resultados que se presentan para el incremento del plástico desde 0% a 0.6% cuyo incremento se muestra en la Tabla 4 y se cuantifica en una mejora del 14%.

Tabla 4. Aumento de la permeabilidad de la mezcla con el uso del desecho plástico.

% OPTIMO DE ASFALTO	% OPTIMO DE POLIMERO	PERMEABILIDAD K (cm/seg)	PERMEABILIDAD RELATIVA
5.7%	0,0%	6,17E-03	MODERADAMENTE PERMEABLE
5.7%	0,6%	7,03E-03	MODERADAMENTE PERMEABLE

ANÁLISIS DINÁMICO

• Ahuellamiento

El principio es aplicar sobre una placa de 30cm de largo, 15cm de profundidad y 10 cm de espesor a 60°C una presión de 0.662 MPa que es equivalente a las 13 toneladas del eje equivalente de la metodología racional.

Se efectuaron ensayos sobre el material virgen (línea azul), material con adición al 0.6% de polietileno (línea roja) y adicionalmente con otro polímero al 1% Poliestireno o icopor (línea verde). Se obtuvo la siguiente evolución del ahuellamiento en mm en función del número de repeticiones de la carga (Figura 6).

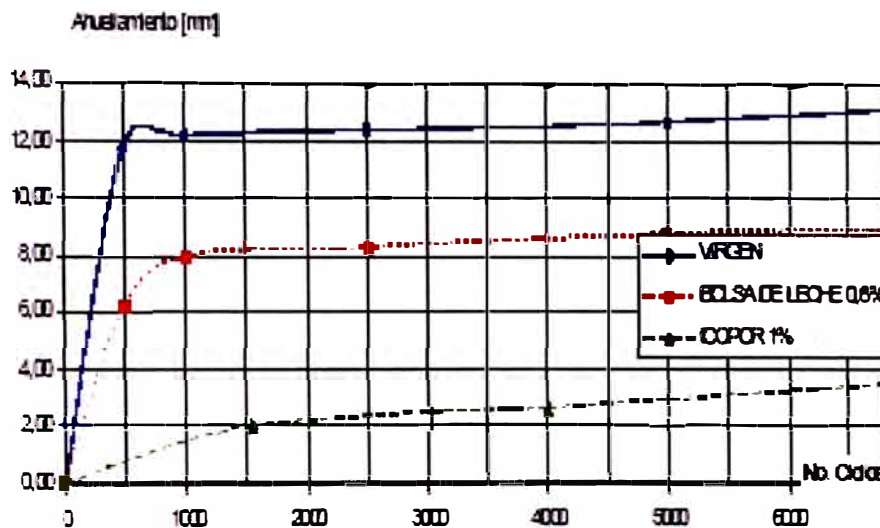


Figura 6. Evolución del ahuellamiento en función de las repeticiones de carga.

Las deformaciones debidas al ahuellamiento disminuyen en un 30% al emplear una adición de desperdicio plástico correspondientes al 0.6% en peso.

En cuanto a la reducción de las deformaciones permanentes se puede observar que el incremento de las propiedades mecánicas en el caso del material con adición de icopor, es superior al del plástico.

Los ensayos mostraron que aun excediendo los valores de la norma NFP 98-260-1 (90-150-210/100mm) el factor de fatiga no se manifiesta en mezclas drenantes.

De igual manera se procedió a efectuar un montaje experimental, simulando el ensayo de flexión en vigas de concreto a fin de determinar la deformación que genera la falla en la mezcla: Aplicando una deformación controlada de 3 mm/minuto se obtuvo deflexiones 268mm antes del inicio de la fisura y 450mm antes de la ruptura. Sin embargo, las experiencias demostraron que al aplicar menores velocidades en el proceso, se efectúa una recuperación del material provocando mayores deformaciones y evitando la falla por ruptura de la probeta. Figura 7.

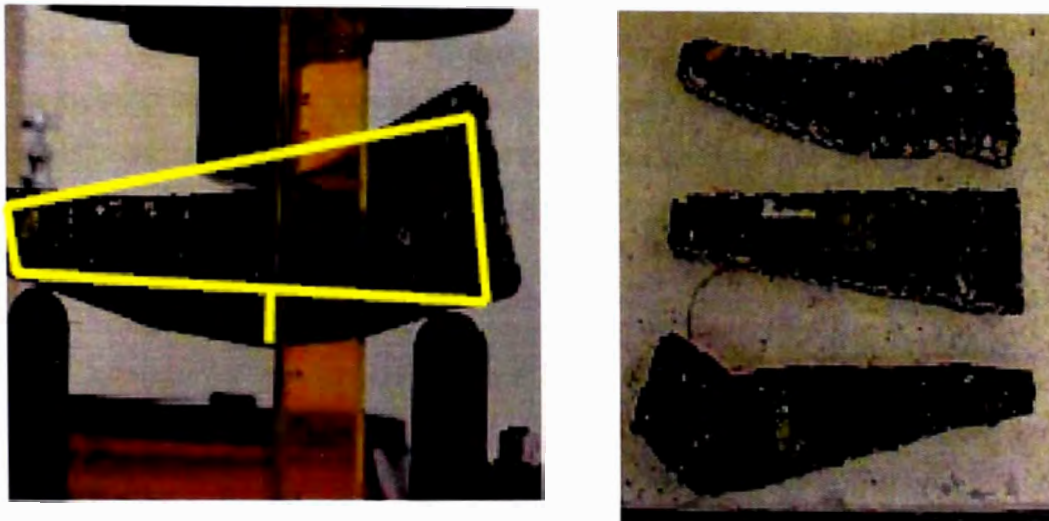


Figura 7. Deformación de una probeta trapezoidal bajo carga.

La primera imagen corresponde a una velocidad de 0.5mm/min se evidencia frente a la probeta sin ensayar del centro un intento de recuperación, contrario a la imagen de abajo donde es claro que una vez efectuada la ruptura el material queda permanentemente deformado.

- Módulos Dinámicos Obtenidos a partir del equipo N.A.T.

Debido a que la mezcla drenante bajo la acción de las cargas presenta grandes deformaciones, en el ensayo de módulo dinámico los datos no logran ser capturados para el material virgen, por su baja resistencia a altas temperaturas. Este fenómeno se hace evidente a la temperatura de 35 °C; sin embargo, al adicionar desperdicio plástico,

la resistencia se incrementa y el ensayo de módulo dinámico se realiza sin problemas. Esto implica una gran ventaja al ampliar el rango de uso de la mezcla. De acuerdo con estos valores, la mezcla presenta sus más altos valores de módulo a la de 25 °C, esto implica que su uso es recomendado para zonas de clima templado con tendencia al frío.

3.1.4 CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados del ensayo de fatiga, se obtuvo una mezcla que gracias a su granulometría y sus adiciones no presenta deterioro en el parámetro de fatiga.
- La incorporación de un desecho plástico en la mezcla es una alternativa viable para la reutilización y disminución del impacto nocivo en el ambiente de un producto perjudicial como lo es el polietileno, dados sus períodos de degradación.
- Las adiciones de material polimérico generan un incremento en todas las propiedades de la mezcla (14% para permeabilidad, de 6.17×10^{-3} a 7.03×10^{-3} , 30% en ahuellamiento, de 12 mm a 8mm; 35% en promedio para módulo dinámico y la disminución de espesores es de 10,7%, de 15cm a 13.4cm). Esto implica que en un diseño de una estructura de pavimento, la vida útil se verá incrementada en un gran número de años frente a una estructura sin adiciones, pues los parámetros mejorados son los que describen la resistencia del material.
- Si en vez de procurar una estructura de igual espesor se busca optimizar el diseño para el mismo rendimiento que una tradicional, el espesor se verá disminuido lo cual implica no solo una disminución de costos sino una ayuda al medio ambiente al darle un adecuado manejo a los desechos plásticos y un uso mejorado de los ligantes hidrocarbonatos.

3.2 ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE HORMIGÓN ASFÁLTICO DRENANTE MODIFICADO CON ASFALTO GOMA

**Leto Momm
Marilan Pedro Dumke**

3.2.1 RESUMEN

Con miras a que el objetivo del trabajo es estudiar el comportamiento de los hormigones asfálticos drenantes modificados, se busca mejorar sus características físicas y el comportamiento mecánico, principalmente en relación al riesgo de disgregación, de deformación permanente y de permeabilidad, utilizando asfalto goma en su composición, para verificar su aplicabilidad y posible beneficios a las características físicas y mecánicas del hormigón asfáltico drenante, siendo viable la aplicación de este tipo de pavimentos como capa de revestimiento en carreteras.

Se describe un análisis de los resultados utilizando técnicas de preparo de muestra para medidas y métodos de interpretación (cuantitativo y cualitativo) para el hormigón asfáltico drenante modificado estudiado. Los resultados de los ensayos son comparados entre sí y con ensayos realizados en mezclas sin los modificadores de asfaltos.

El análisis de los resultados indica que la modificación con asfalto goma produjo reducción del porcentaje de vacíos comunicantes y de la permeabilidad, reducción de las pérdidas en el ensayo Cántabro y también reducción de la resistencia a la tracción indirecta, sin embargo, aumento de la estabilidad Marshall. Siendo hecho, un comparativo en relación a las mezclas sin modificación.

Fueron amoldadas las probetas según las Especificaciones exigidas según la tabla 1.

Características	Especificaciones exigidas
Porcentaje de Vacíos	18 a 25 %
Desgaste por Abrasión Los Ángeles- Ensayo Cantabro	% 52 ≤
Resistencia a la tracción por compresión diametral a 25°C	≥ M 55.0

Tabla 1. Especificaciones exigidas por camada porosa.

3.2.2 GRANULOMETRIA ADOPTADA

La característica drenante de este tipo de material depende fundamentalmente de los granulares, tanto grande como pequeño pues, esta surge debido a una brecha, bastante definida en la curva granulométrica de la mezcla. En el proyecto de una mezcla granulométrica se busca un gran roce interno para maximizar su resistencia a la deformación y la ruptura por cizallamiento. Para una evaluación más precisa sobre la permeabilidad de los hormigones asfálticos drenantes, se debe tener una noción de como los vacíos se sitúan dentro de la mezcla, siendo generalmente clasificados en:

- a. Vacíos efectivos: vacíos que contribuyen para el pasaje y almacenaje de agua;
- b. Vacíos semiefectivos: vacíos que no contribuyen para el pasaje, pero permiten el almacenamiento de agua;
- c. Vacíos ineficaces: vacíos oscuros que no contribuyen para el pasaje ni almacenamiento de agua.

Fueron concebidas dos composiciones granulométricas diferentes para los materiales estudiados en cuestión (una passante en el tamiz #9,50mm y otra en el tamiz #12,50mm), visando simular la misma composición utilizada en estudio de Meurer, y evaluar bajo mismas condiciones el comportamiento de las mezclas con suyos granulares compatibles. La proporción de vacíos comunicantes es mayor en hormigones asfálticos drenantes con mayor volumen de vacíos.

Meurer (5) mostró que es posible obtenerse hormigones asfálticos drenantes con porcentaje de vacíos superiores a un 25 % controlándose las brechas de la curva granulométrica, permaneciendo las mezclas con resistencia a la disgregación, a la deformación permanente.

Las curvas granulométricas adoptadas para las composiciones granulométricas utilizadas para las mezclas de hormigones asfálticos drenantes modificados fueron con los tamices #9,50mm y #12,50mm, presentadas en las Figuras 1 y 2, respectivamente.

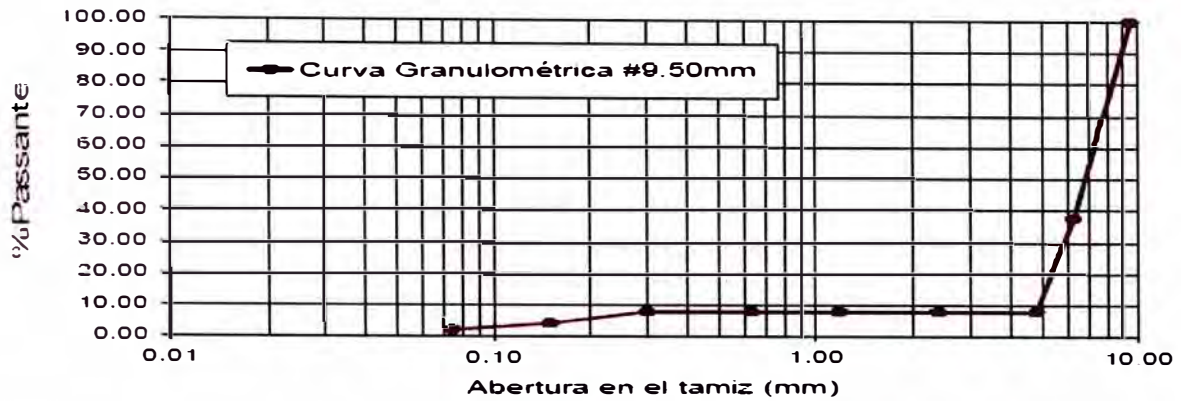


Figura 1: Curva granulométrica tamiz #9,50mm para hormigón asfáltico drenante modificado con asfalto goma

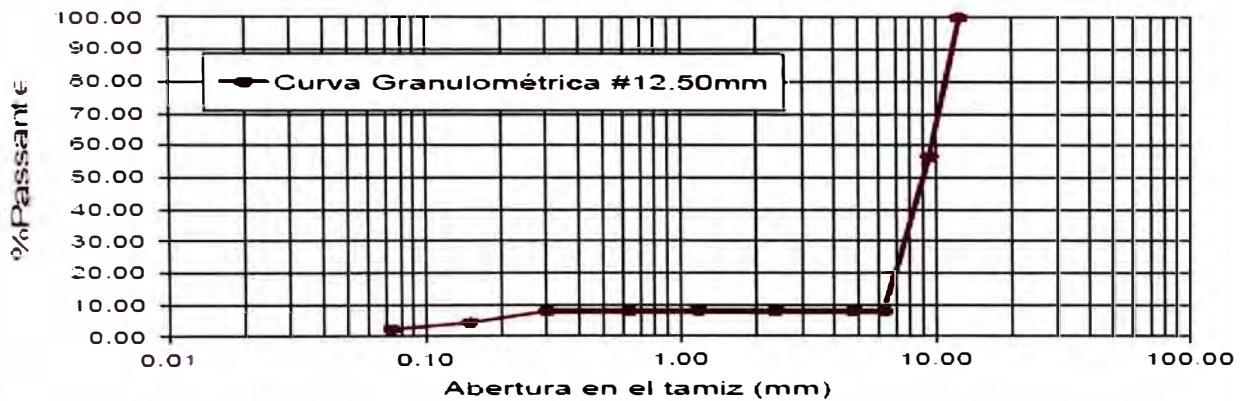


Figura 2: Curva granulométrica tamiz #12,50mm para hormigón asfáltico drenante modificado con asfalto goma

3.2.3. EFECTOS DE LA MODIFICACIÓN POR ADICIÓN DE ASFALTO GOMA

La mejoría del confort del usuario de las carreteras, asociada a la protección del ambiente por el control de desperdicios ha sido incentivado para la modificación de ligantes betuminosos por la incorporación de goma en polvo recuperada de neumáticos usados. Las propiedades adhesivas del ligante de asfalto goma hacen posible construir superficie de asfalto poroso con ventajas como para un drenaje de agua de la superficie, para resistencia a la resbalón, para flexibilidad a las bajas

temperaturas, y niveles de ruidos reducidos. La Figura 3 ilustra la goma de neumático molida utilizado .

Como el porcentaje de betún está directamente asociada con la resistencia a la disgregación, partiendo de un valor tomado como satisfactorio para hormigones asfálticos drenantes, del 4,5% de ligante, se adoptó dos valores próximos más a este, con 4,0 y un 5,0%, para hacer una evaluación de esa característica con la variación de betún, aprovechando también para verificar que tipo de influencia ejercería sobre las demás características, principalmente la permeabilidad.



Figura 3: Material empleado en la investigación – goma de neumático moída (polvo de goma)

3.2.4 PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO

Fueron realizados inicialmente para el control de calidad y para la caracterización de los materiales utilizados los ensayos de punto de amolecimiento anillo y balón; determinación de la viscosidad Saybolt Furol ; determinación de la penetración y determinación de la adhesividad . Los ensayos ejecutados realizados para el desarrollo de la búsqueda son presentados conforme la Tabla 2.

Relación de la cantidad de probetas para ejecución de los ensayos							
Granulometría	G1 (#9,50mm)			G2 (#12,50mm)			Cantidades de probetas
Porcentaje de Betún para el Asfalto Goma	4.0%	4.5%	5.0%	4.0%	4.5%	5.0%	
Ensayos No Destructivos							
Vacíos	16	16	16	16	16	16	96
Vacíos Comunicantes	16	16	16	16	16	16	96
Permeabilidad	16	16	16	16	16	16	96
Ensayos Destructivos (son utilizados los mismos de los ensayos no destructivos)							
Marshall	4	4	4	4	4	4	24
Cántabro Seco	4	4	4	4	4	4	24
Cántabro Húmedo	4	4	4	4	4	4	24
Tracción Indirecta	4	4	4	4	4	4	24
Total de probetas							96

Tabla 2: Relación de probetas para los ensayos

ENSAYOS REALIZADOS

Para la realización del estudio hubo un grande empeño de trabajo en laboratorio, tanto en la realización de los ensayos, así como en la recolecta y análisis de los resultados. Se realizaron ensayos tales como la determinación de porcentaje de vacíos, determinación de porcentaje de vacíos comunicantes, permeabilidad, ensayo Cantabro seco y tras inmersión, ensayo Marshall, y tracción indirecta.

3.2.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados del estudio, realizados con las probetas confeccionados en la investigación del trabajo, son analizados por los gráficos a seguir, referentes de las mezclas de hormigones asfálticos drenantes modificados con asfalto goma. Consecuentemente, esa cantidad relativa a todas las mezclas sirve para la realización de los ensayos ejecutados, y como parámetros de referencia para la compatibilización de los ensayos de análisis.

Las mezclas estudiadas están comparadas con un hormigón asfáltico drenante sin modificadores, con un cemento asfáltico de petróleo con viscosidad de 4000 poise, para entonces, comparativamente, verificar las características individuales y sus propiedades cualitativas y cuantitativas del hormigón asfáltico drenante estudiado.

PORCENTAJE DE VACÍOS

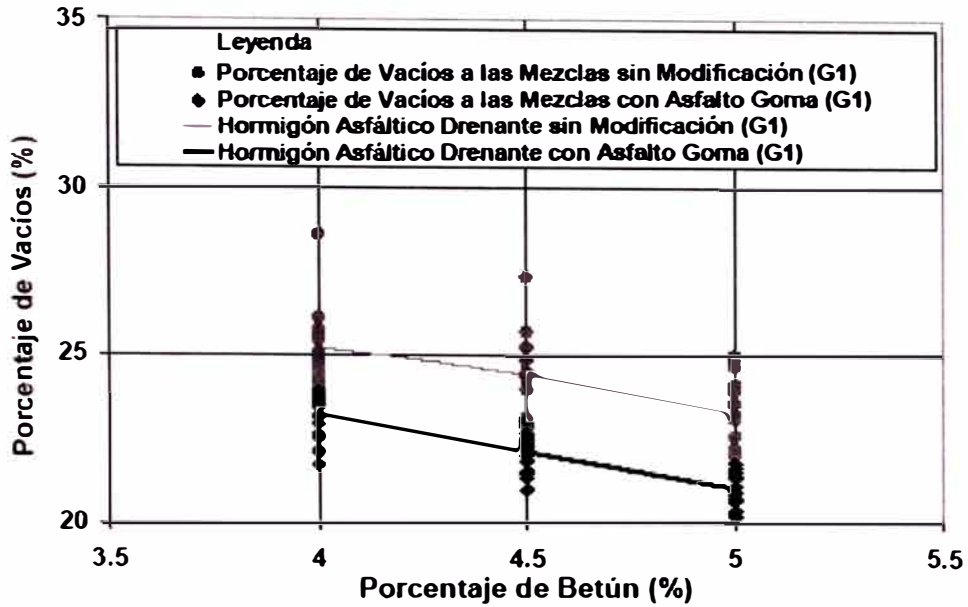


Figura 7: Porcentaje de vacíos - granulometría G1 (#9,50mm)

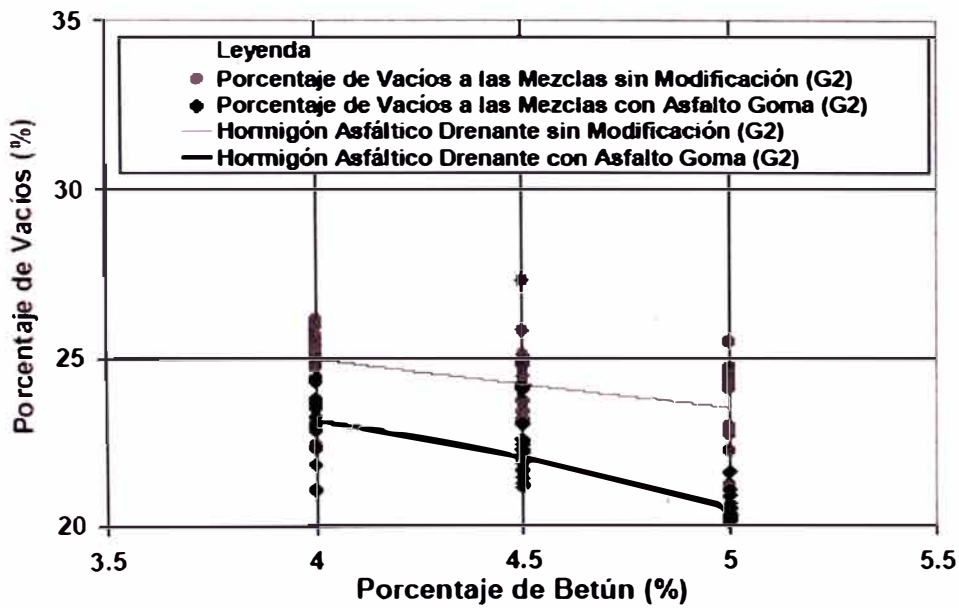


Figura 8: Porcentaje de vacíos - granulometría G2 (#12,50mm)

PORCENTAJE DE VACÍOS COUMUNICANTES

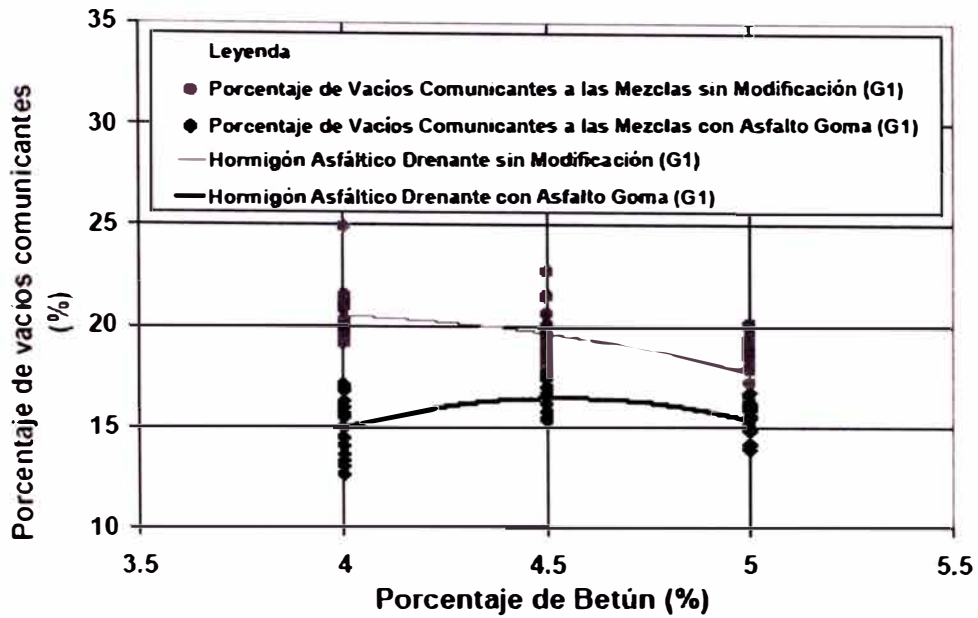


Figura 9: Porcentaje de vacíos comunicantes - granulometría G1 (#9,50mm)

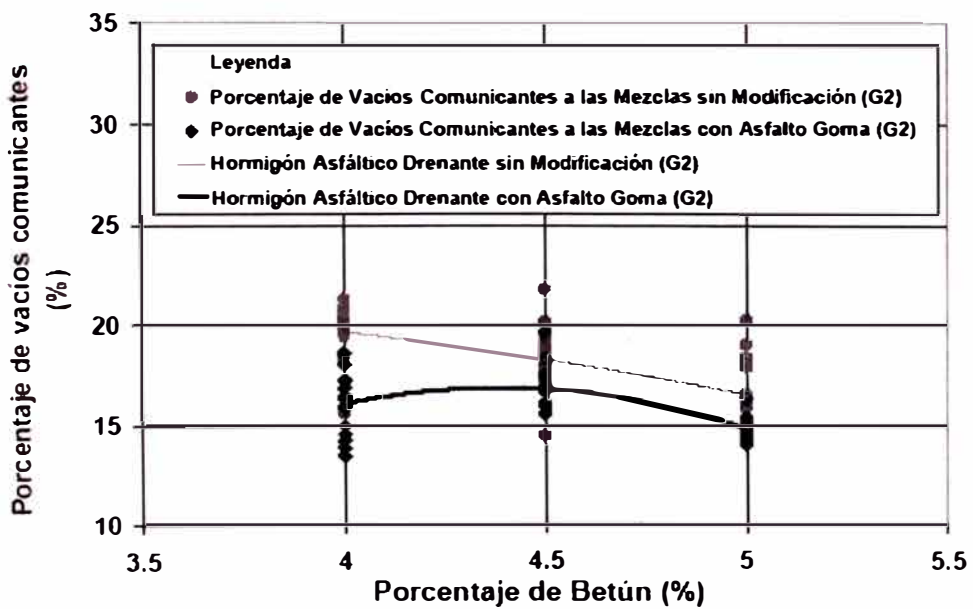


Figura 10: Porcentaje de vacíos comunicantes - granulometría G2 (#12,50mm)

PERMEABILIDAD

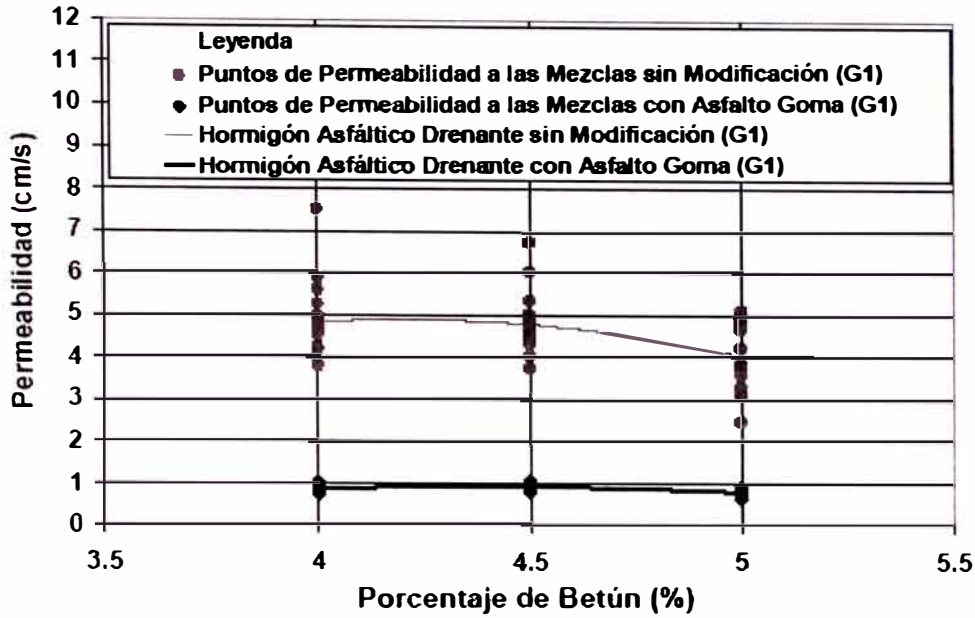


Figura 11: Permeabilidad - granulometria G1 (#9,50mm)

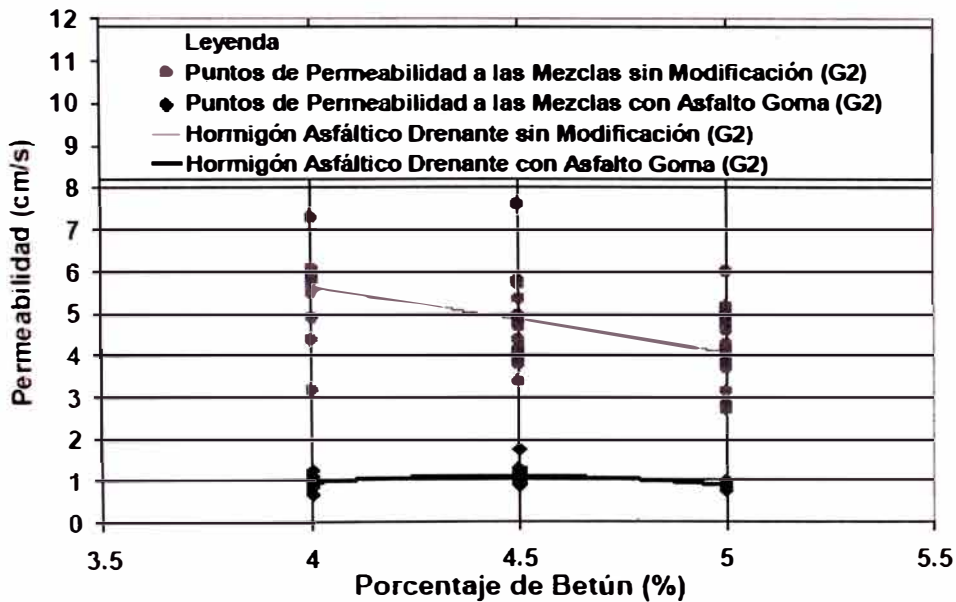


Figura 12: Permeabilidad - granulometria G2 (#12,50mm)

PÉRDIDAS CÁNTABRO SECO

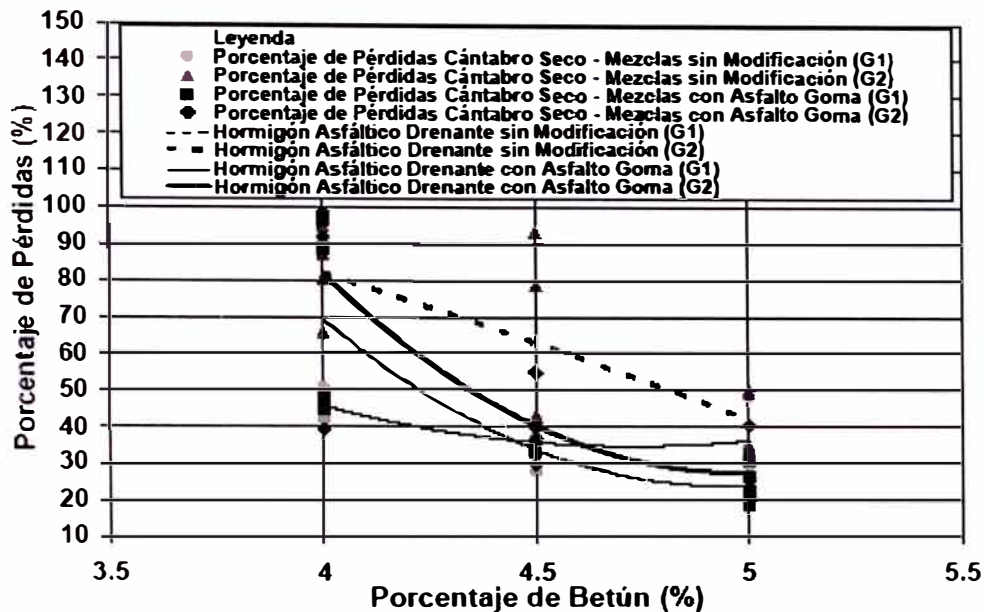


Figura 13: Cántabro seco - granulometria G1 (#9,50mm) y granulometria G2 (#12,50mm)

PÉRDIDAS CÁNTABRO HÚMEDO

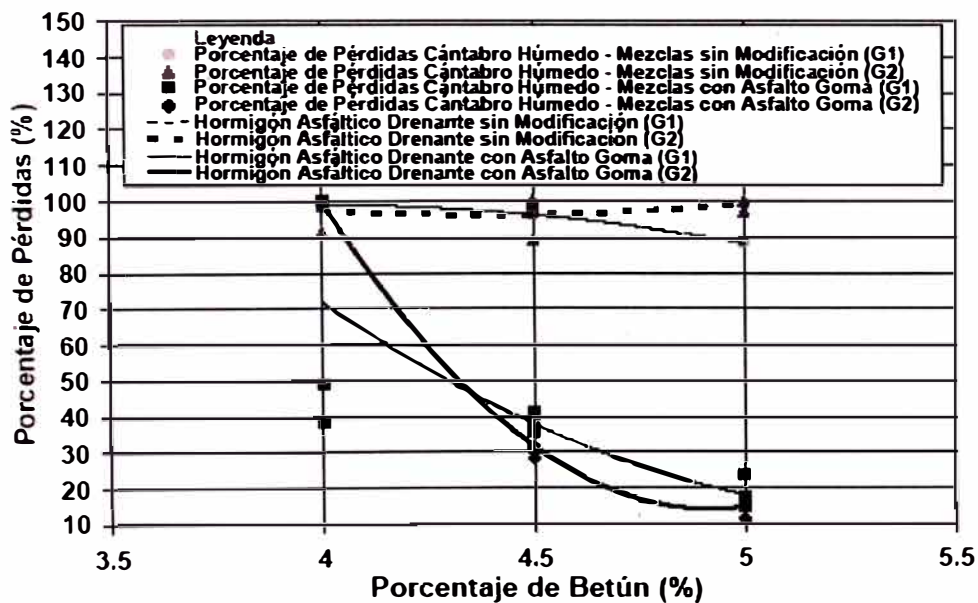


Figura 14: Cántabro húmedo - granulometria G1 (#9,50mm) y granulometria G2 (#12,50mm)

MARSHALL
MARSHALL – ESTABILIDAD

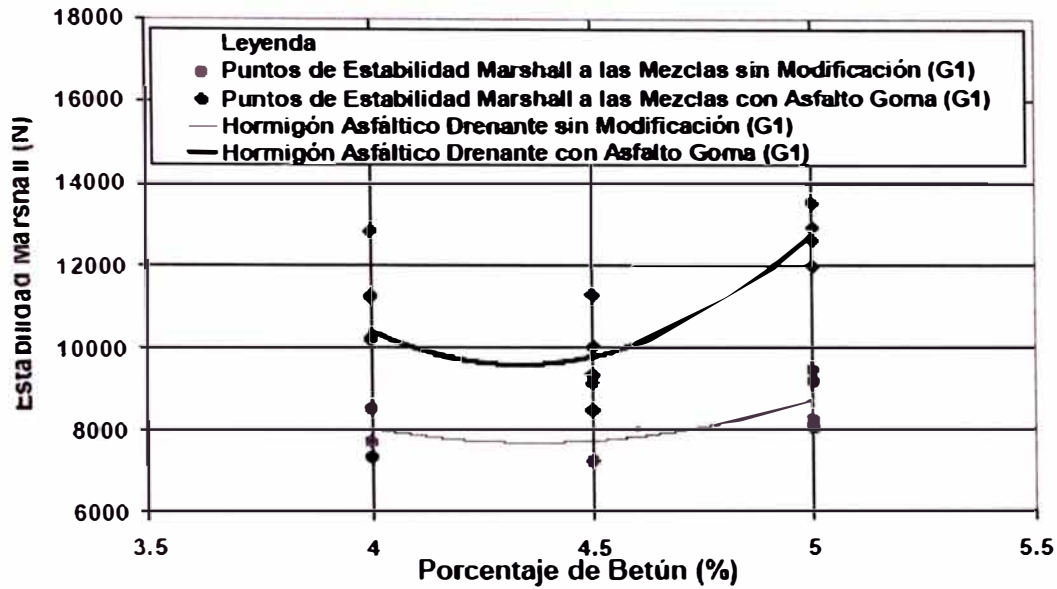


Figura 15: Estabilidad Marshall - granulometria G1 (#9,50mm)

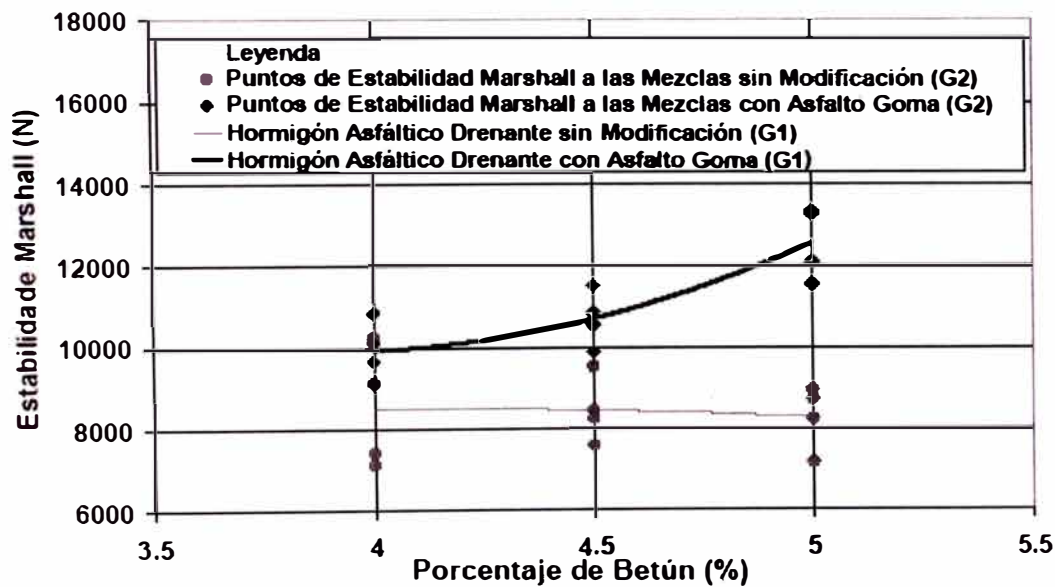


Figura 16: Estabilidad Marshall - granulometria G2 (#12,50mm)

MARSHALL – FLUENCIA

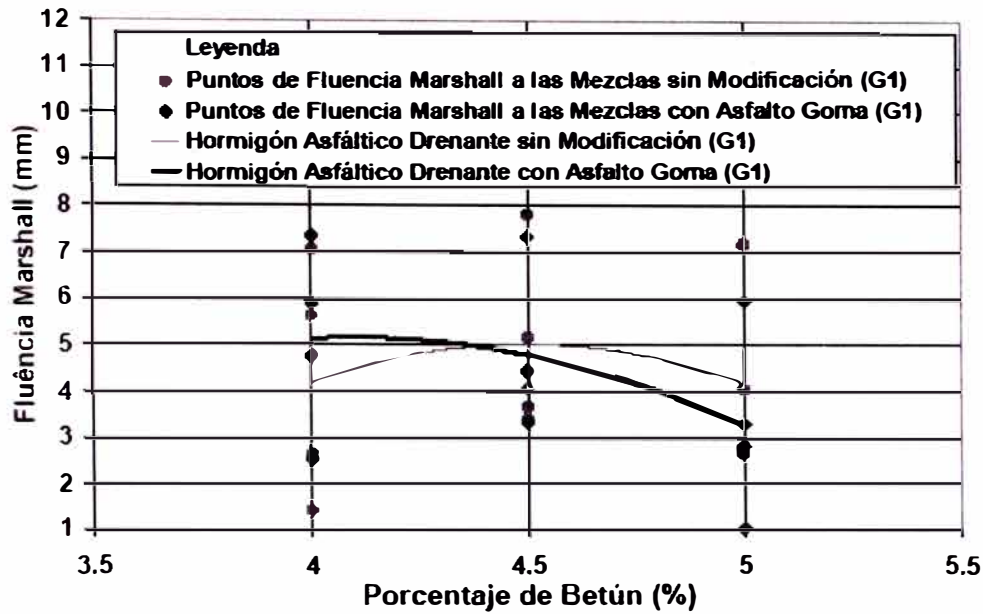


Figura 17: Fluencia Marshall - granulometría G1 (#9,50mm)

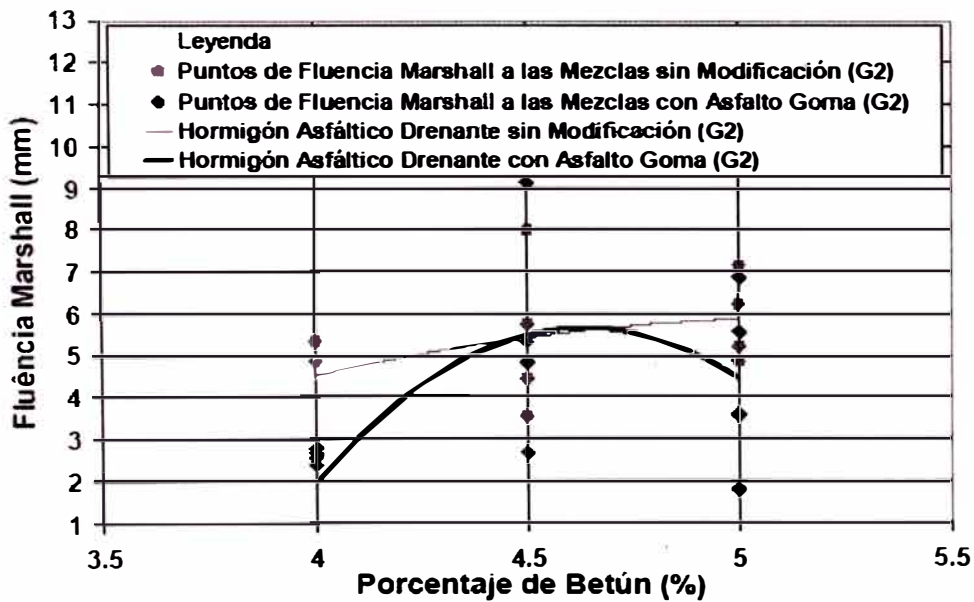


Figura 18: Fluencia Marshall - granulometría G2 (#12,50mm)

TRACCIÓN INDIRECTA SECO

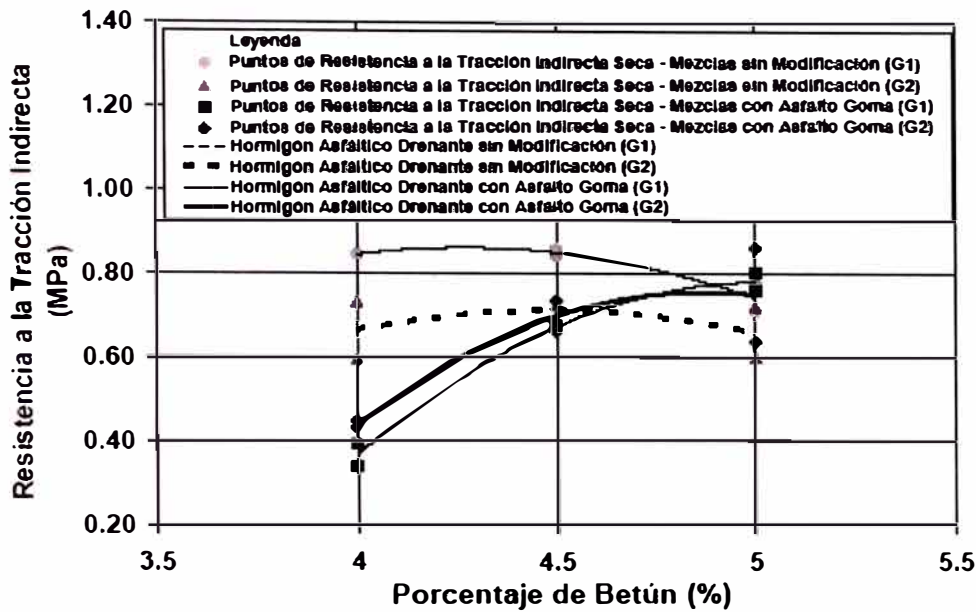


Figura 19: Tracción Indirecta seco - granulometria G1 (#9,50mm) y granulometria G2 (#12,50mm)

TRACCIÓN INDIRECTA HÚMEDO

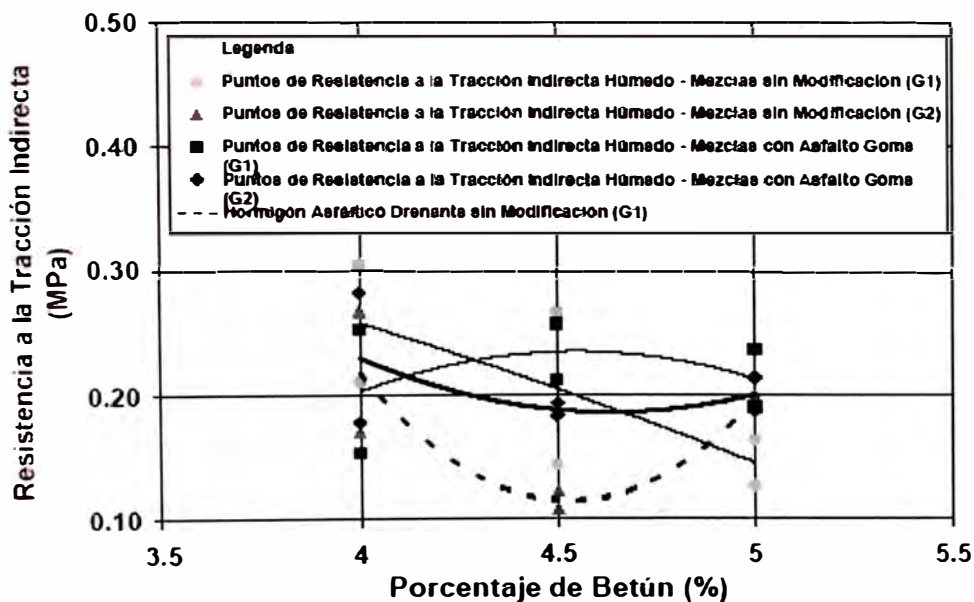


Figura 20: Tracción Indirecta húmedo - granulometria G1 (#9,50mm) y granulometria G2 (#12,50mm)

3.2.6. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

En el análisis de los ensayos se verificó que las brechas en la granulometría de los hormigones asfálticos drenantes son fundamentales, concluyéndose que el máximo de permeabilidad es alcanzado en curvas granulométricas con brechas bien definidas. Para cada ensayo realizado, se destaca los siguientes análisis y observaciones:

PORCENTAJE DE VACÍOS:

- Los hormigones asfálticos drenantes no modificados obtuvieron valores más elevados de porcentaje de vacíos que los hormigones asfálticos drenantes modificados por asfalto goma;
- El tamaño máximo de los granulares no reveló variación significativa;
- El porcentaje de vacíos decayó con el aumento del porcentaje de betún.

PORCENTAJE DE VACÍOS COMUNICANTES:

- Los hormigones asfálticos drenantes modificados por asfalto goma obtuvieron peor desempeño que los no modificados en el porcentaje de vacíos comunicantes, este último alcanzando valores arriba del 20%;
- El tamaño máximo de los granulares no tuvieron grande influencia sobre el porcentaje de vacíos comunicantes;
- En los hormigones asfálticos drenantes no modificados, el porcentaje de vacíos comunicantes cayó con el aumento de porcentaje de betún;
- En los hormigones asfálticos drenantes modificados por asfalto goma los probetas confeccionados con un 4,5% de betún obtuvieron mejor desempeño.

PERMEABILIDAD:

- De igual modo la permeabilidad de los asfaltos no modificados alcanzaron valores más satisfactorios con relación a los hormigones asfálticos drenantes modificados por asfalto goma;

-
- Hubo mejora de desempeño con la utilización de la granulometría G2, para las dos mezclas;
 - La permeabilidad, en relación al porcentaje de betún, varió de manera semejante al porcentaje de vacíos comunicantes.

ENSAYO CÁNTABRO:

- Las pérdidas disminuyeron con el aumento del porcentaje de betún;
- Los hormigones asfálticos drenantes sin modificadores desempeñaron resultados insatisfactorios tanto en los ensayos a húmedo cuanto a seco;
- Solamente con un 5% de betún los hormigones asfálticos drenantes modificados por asfalto goma presentaron valores dentro del valor límite del 25% de pérdidas;
- Los hormigones asfálticos drenantes modificados por asfalto goma resultaron ser menos susceptible a la temperatura.

ENSAYO MARSHALL – ESTABILIDAD:

- No hubo gran variación entre las granulometrias;
- Los hormigones asfálticos drenantes modificados por asfalto goma presentaron valores más elevados de estabilidad;
- Los hormigones asfálticos drenantes sin modificadores permanecieron prácticamente constante con la variación del porcentaje de betún;
- Conforme el aumento del porcentaje de betún, los hormigones asfálticos drenantes modificados por asfalto goma presentaron mejores resultados.

ENSAYO MARSHALL – FLUENCIA:

- El análisis de los gráficos no indicó una tendencias, sin embargo fue posible percibir que ambas mezclas estudiadas alcanzaron valores semejantes.

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA:

- En la tracción indirecta húmeda los grupos presentaron valores semejantes, no habiendo alteraciones significativas con variación del porcentaje de betún o

utilización de granulometrías diferentes;

- Para la tracción seca los hormigones asfálticos drenantes sin modificadores permanecieron prácticamente constante con la variación del porcentaje de betún, mientras que los hormigones asfálticos drenantes modificados por asfalto goma la resistencia a la tracción aumentó con la adición de betún;
- Los hormigones asfálticos drenantes sin modificadores obtuvieron mejor desempeño que los hormigones asfálticos drenantes modificados por asfalto goma, pues este último sólo presentó valores semejantes al primero con el porcentaje del 5% de betún.

El análisis de los resultados indica que la modificación con asfalto goma produjo reducción del porcentaje de vacíos comunicantes, de la permeabilidad y de las pérdidas Cántabro, aumento de la estabilidad Marshall y la reducción de la resistencia a la tracción indirecta, en relación a las mezclas sin modificación.

De estas observaciones, se puede destacar el efecto negativo obtenido con la utilización del asfalto goma sobre la permeabilidad del material, pues esta es una característica esencial de este tipo de pavimento, contrariando substancialmente el que dice las bibliografías internacionales, para esos ensayos analizados.

También llamó la atención el hecho de las probetas fabricadas con las mezclas asfálticas drenantes sin incorporación de modificadores, hayan presentado una pésima resistencia a la disgregación y un desempeño también insatisfactorio en el ensayo Marshall (estabilidad), quedando abajo del obtenido por las probetas de asfalto goma, que, por su vez, tampoco hubieran presentado buenos resultados en este ensayo.

3.3 REPORTE DE INVESTIGACIÓN DE MEZCLAS DRENANTES

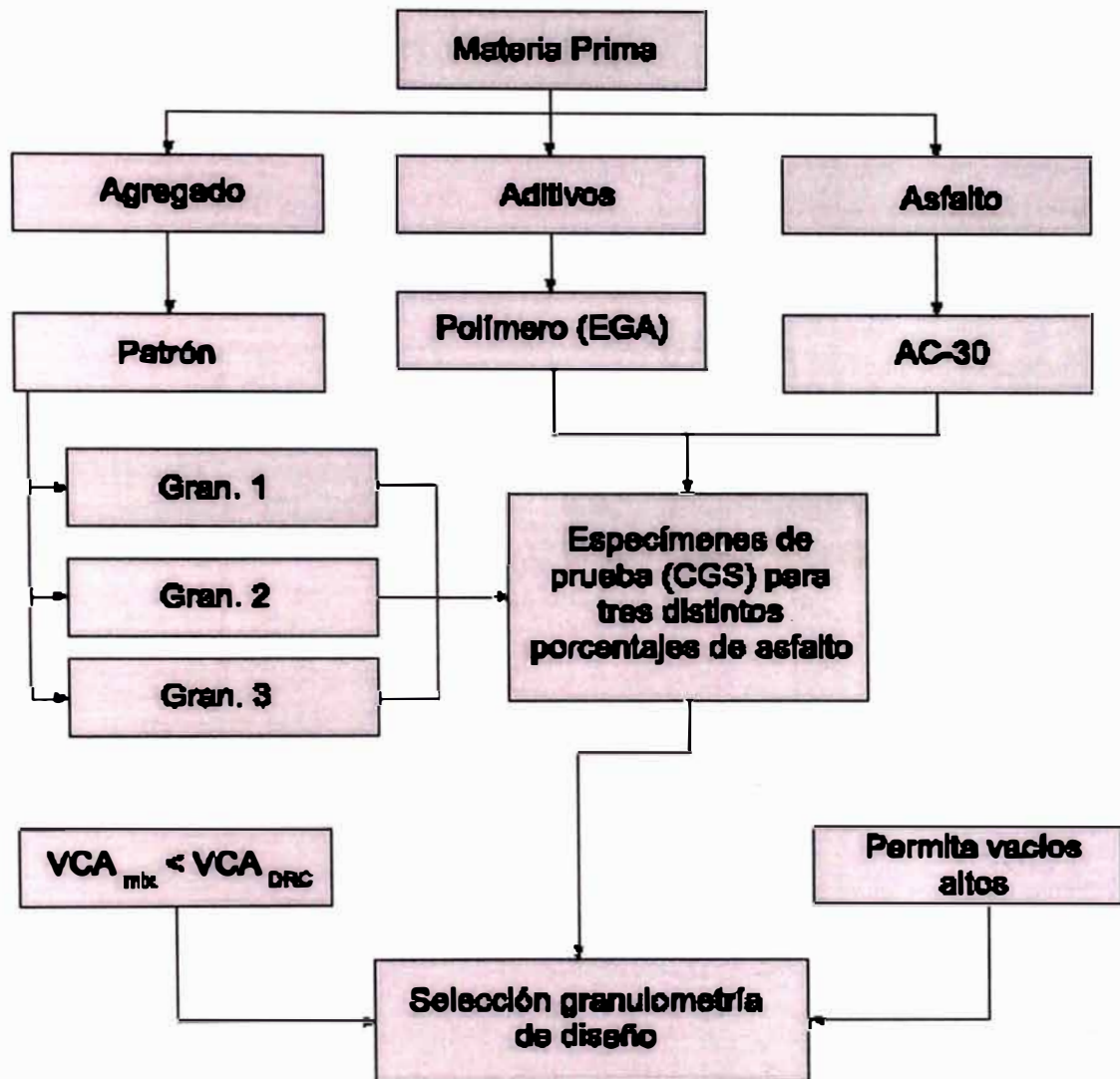
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES .

FEBRERO –2005- COSTA RICA

3.3.1 INTRODUCCIÓN

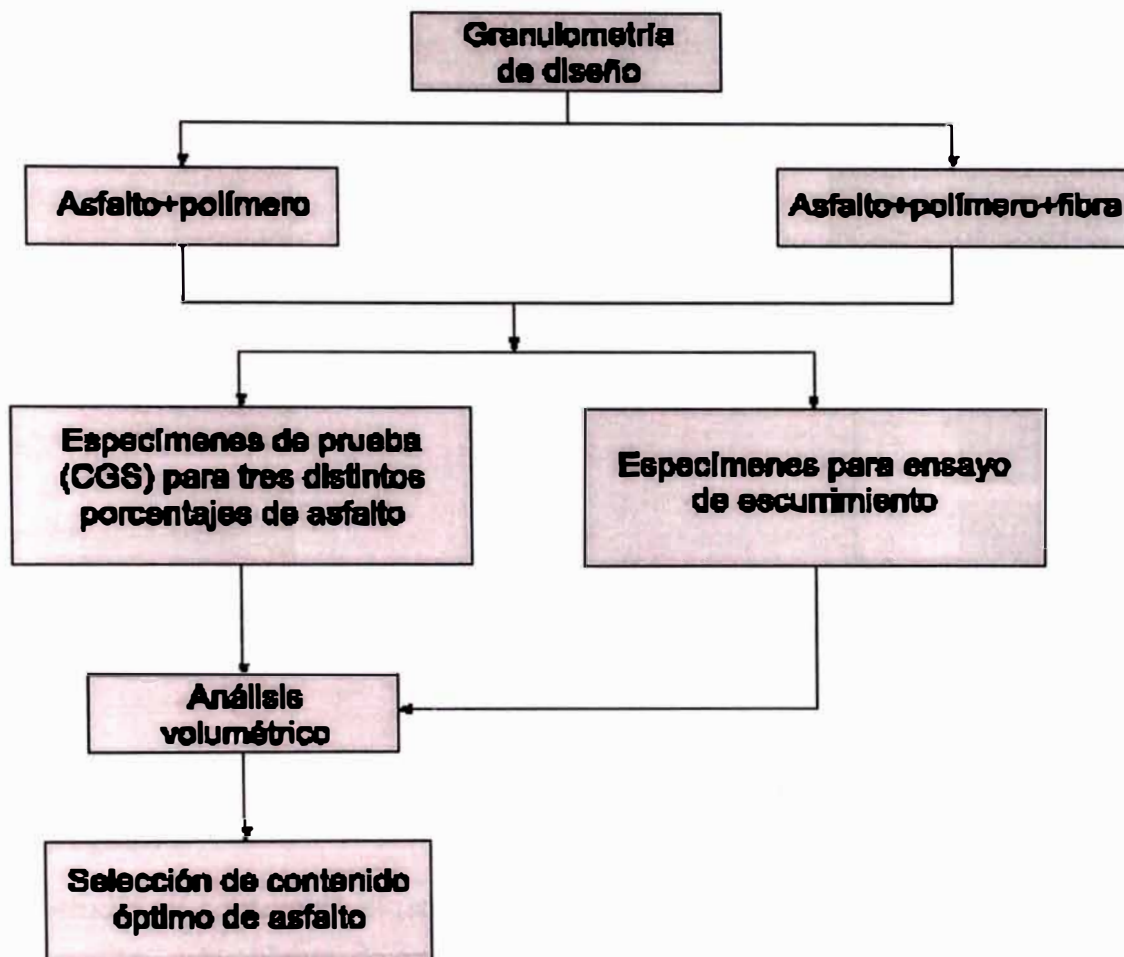
Al ser Costa Rica un país lluvioso, se presentan problemas por la falta de adherencia entre el neumático y el pavimento y la disminución de la visibilidad, ambos causados por la película de agua que queda sobre la superficie del pavimento. Esta película de agua puede dar lugar al deslizamiento o al vuelco de los vehículos que circulan a altas velocidades. Para buscar solución a estos problemas, el LANAMME, según lo establece la Ley No. 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributaria, deberá desarrollar proyectos de investigación. De aquí surge este proyecto, el cual, analiza el comportamiento de las mezclas drenantes en nuestro medio y generar un marco de especificaciones para su diseño y construcción. En la primera etapa del proyecto se usará agregado patrón, proveniente de la región de Guápiles, asfalto tipo AC-30 modificado con 1.5% de EGA y 0.5% de fibra de celulosa. El diseño de la mezcla se hará empleando la metodología SUPERPAVE, sin embargo, alguno de los diseños también se realizarán mediante la metodología Marshall, para comparar los resultados obtenidos con ambas metodologías. Para analizar el desempeño de estas mezclas en laboratorio, se efectuarán ensayos de deformación permanente a 60°C y 70°C en la pista de ensayo de Georgia (APA), ensayos de módulo Resilente y ensayos de resistencia a la acción del agua, tal como resistencia retenida a la tensión diametral y a la compresión uniaxial. La primera etapa del proyecto se dividirá en tres secciones. En la primera sección se seleccionará la granulometría óptima de entre tres granulometrías propuestas, considerando los parámetros de vacíos en el agregado grueso (VCARDC), vacíos en el agregado grueso de la mezcla (VCAmix), y los vacíos totales en la mezcla. En la figura 1 se presenta el esquema experimental empleado.

Figura No. 1: Esquema experimental para selección de la granulometría óptima



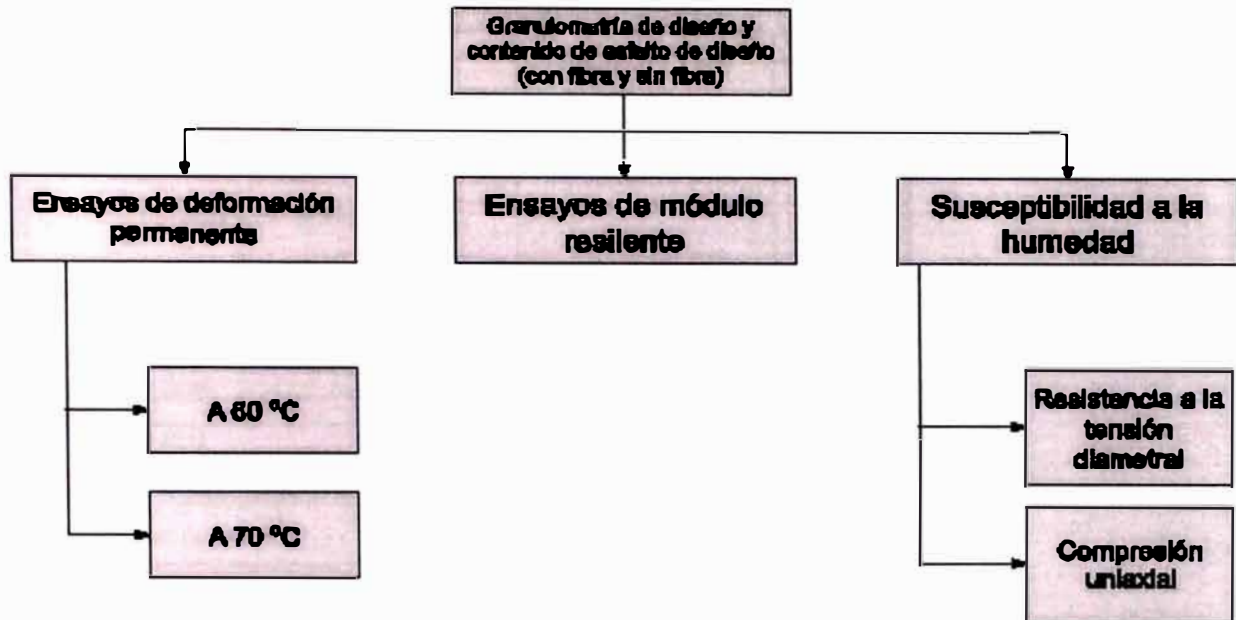
En la siguiente sección se definirá el contenido óptimo de asfalto por medio de la metodología SUPERPAVE, empleando 100 giros de diseño y se comparará con el contenido óptimo de asfalto obtenido mediante la metodología Marshall, usando 50 golpes por cara. En la figura 2 se presenta el esquema experimental.

Figura No. 2: Esquema experimental para selección del contenido óptimo de asfalto.



En esta segunda sección, se realizarán ensayos de deformación permanente y módulo resiliente para cada contenido de asfalto del diseño de mezcla. Una vez seleccionado el porcentaje óptimo de asfalto, se realizarán ensayos de desempeño, los cuales se detallan en la figura 3.

Figura No. 3: Esquema experimental para ensayos de desempeño.



FASE I

3.3.2 CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA

3.3.2.1 Agregado

En este estudio se contempla el uso de una sola fuente de agregado, denominado agregado patrón, proveniente de la Región de Guápiles, de depósitos aluviales de origen ígneo, y extraído de río. En la Tabla No.1 se presenta la caracterización física del agregado.

3.3.2.2 Ligante asfáltico

Se empleó para el estudio un ligante asfáltico de uso común en Costa Rica para obras de pavimentación, modificado con 1.5% de polímero tipo EGA (Etilen glicidil acrilato). En la Tabla No.2 se presenta la caracterización físico-química del ligante asfáltico sin modificar y modificado y en la Tabla No.3 se presenta su caracterización reológica.

Tabla No. 1: Caracterización del agregado

Ensayo	Norma	Valor
Agregado grueso		
Gbs		2.62
Absorción (%)	AASHTO T100	1.7
Abrasión tipo A (%)		19.1
Abrasión tipo C (%)	AASHTO T-96	32.3
Caras fracturadas (1 cara)	AASHTO D5821	86
Partículas planas y elongadas		
-3 a 1	ASTM D4791	6.9
-5 a 1		0.9
Resistencia al pulido	AASHTO T278-279	0.64
Agregado fino		
Gbs		2.64
Absorción (%)	AASHTO T85	2.0
Límites de atterberg	AASHTO T89	NP
Vacios no compactados (%)	ASTM C1252	36.6
Equivalente de arena	AASHTO T176	96
Disgregabilidad en sulfato de sodio (%)	AASHTO T104	5.65
Propiedades combinadas		
Gbs	-	2.63
Absorción	-	1.75

Tabla No. 2: Caracterización físico-química del ligante asfáltico.

Propiedad	Ligante sin modificar	Ligante modificado (1.5% EGA)
Parámetros de pureza y seguridad		
Punto de chispa (°C)	277	304
Solubilidad en/ trichloroetileno (%)	99.93	-
Pérdida de masa en RTFO (%)	0.81	0.71
Pérdida de masa en TFO (%)	0.52	0.51
Gravedad específica a 25°C	1.033	1.029
Parámetros de consistencia		
Penetración a 25°C (1/10 mm)	53	52
Viscosidad absoluta a 60°C (Poise)	4097	5472
Viscosidad absoluta a 125°C (cSt)	1083	2672
Viscosidad cinemática a 135°C (cSt)	566	1299
Viscosidad cinemática a 145°C (cSt)	411	871
Viscosidad absoluta a 60°C TFO (Poise)	7885	9893
Parámetros de susceptibilidad al envejecimiento y susceptibilidad térmica		
Índice de susceptibilidad térmica VTS	3.51	3.01
Razón de viscosidades (TFO/RTFO)	1.9/2.4	1.8/2.7

Tabla No. 3: Caracterización reológica del ligante asfáltico.

Ensayo	Unid.	Temp.	Ligante sin modificar	Ligante modificado (1.5% EGA)
Parámetro de resistencia a la deformación plástica				
G' / sen δ (original)	KPa	82°C	0.370	0.670
		70°C	1.310	2.050
		58°C	5.720	7.610
Angulo de fase (original)	°	82°C	86.6	76.3
		70°C	84.0	73.2
		58°C	79.8	70.5
PG superior	°C	-	72.52	77.67
G' / sen δ (RTFO)	KPa	82°C	0.860	1.860
		70°C	3.130	5.750
		58°C	13.290	21.110
Angulo de fase (RTFO)	°	82°C	83.1	69.9
		70°C	79.5	67.0
		58°C	73.8	64.6
PG superior	°C	-	72.74	80.02
Parámetro de tendencia al agrietamiento por fatiga				
G' / sen δ (PAV)	KPa	28°C	1.065	0.878
		22°C	1.925	1.541
		16°C	3.555	2.757
Angulo de fase (PAV)	°	28°C	49.6	48.2
		22°C	45.1	44.6
		16°C	41.8	41.8
PG intermedio	°C	-	12.95	10.3
Grado de desempeño	°C	-	70 (13)	76 (13)

Según los ensayos reológicos, el ligante sin modificar clasifica, de acuerdo con la metodología SUPERPAVE para determinación del grado de desempeño, como un PG-70 (13), donde 70 representa la temperatura máxima de desempeño y 13 representa la temperatura intermedia de desempeño. Para el caso del ligante modificado con 1.5% de EGA, clasifica como un PG 76 (13).

3.3.2.3 Aditivos

El asfalto es modificado con polímeros mediante un proceso de mezclado a alta temperatura y esfuerzo cortante, en el cual se incorpora el polímero para formar una "red" tridimensional que atrapa, dentro de sus espacios, a las moléculas de asfalto. Esta red absorbe gran parte de los esfuerzos a los que se ve sometido el asfalto y es el factor clave para mejorar el desempeño de este. Para este proyecto se utilizarán como modificantes la fibra de celulosa, y un polímero del tipo EGA

Fibra de celulosa: La celulosa es un material de origen natural y renovable por la naturaleza. Es utilizada como un agente estabilizador que evita el escurrimiento del ligante. Para este estudio se utilizó la fibra en su presentación granular (ver figura 4),

la cual tiene un recubrimiento de ligante AC-40 del 28% de su peso, el cual funciona como un agente separador y ayudante de granulación. Es necesario tomar en cuenta esta cantidad de asfalto, que aporta la fibra, a la hora de dosificar el ligante. Se dosificó al 0.5% por peso de agregado y se incorporó junto con la fracción fina del agregado antes de ser llevado a la temperatura de mezclado.

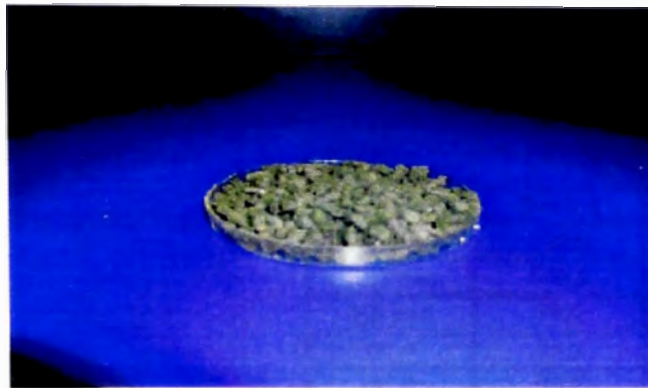


Figura No. 4: Fibra de celulosa en presentación granular

Polímero EGA Es un polímero compuesto por etilen, glicidil y acrilato (EGA), el cual se incorporó directamente al asfalto y se dosificó al 1.5% por peso total de asfalto.

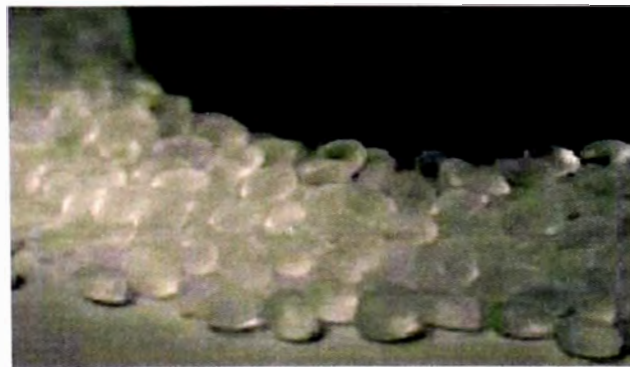


Figura No. 5: Polímero EGA (P1)

3.3.3 RESULTADOS OBTENIDOS

3.3.3.1 Primera etapa

3.3.3.1.1 Selección de granulometría óptima

Para seleccionar la granulometría óptima se ensayaron tres distintas granulometrías, mostradas en la Tabla No.4 y en el gráfico No.1.

Se analizaron cuatro distintos porcentajes de asfalto, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0% por peso total de agregado (PTA). Los principios que prevalecieron en la selección de la granulometría fueron, que los vacíos en el agregado grueso de la mezcla (VCAmix) fueran menores a los vacíos en el agregado grueso (VCA que se alcanzaran vacíos de aire en la mezcla altos, entre 20 y 22% y que el porcentaje de escurrimiento fuera menor a 0.3%.

En la Tabla No.5 se presentan los resultados de los diseños de mezcla.

Tabla No. 4: Granulometrías ensayadas

Malla (mm)	% Pasando		
	Gran. 1	Gran. 2	Gran. 3
19 mm	100,0	100,0	100,0
12,7 mm	100,0	92,5	85,0
9,5 mm	75,0	65,0	55,0
N° 4	25,0	17,5	10,0
N° 8	10,0	7,5	5,0
N° 16	8,0	6,0	4,0
N° 30	6,5	4,9	3,3
N° 50	5,4	4,1	2,7
N° 100	4,6	3,4	2,3
N° 200	4,0	3,0	2,0

Gráfico No. 1: Curvas granulométricas

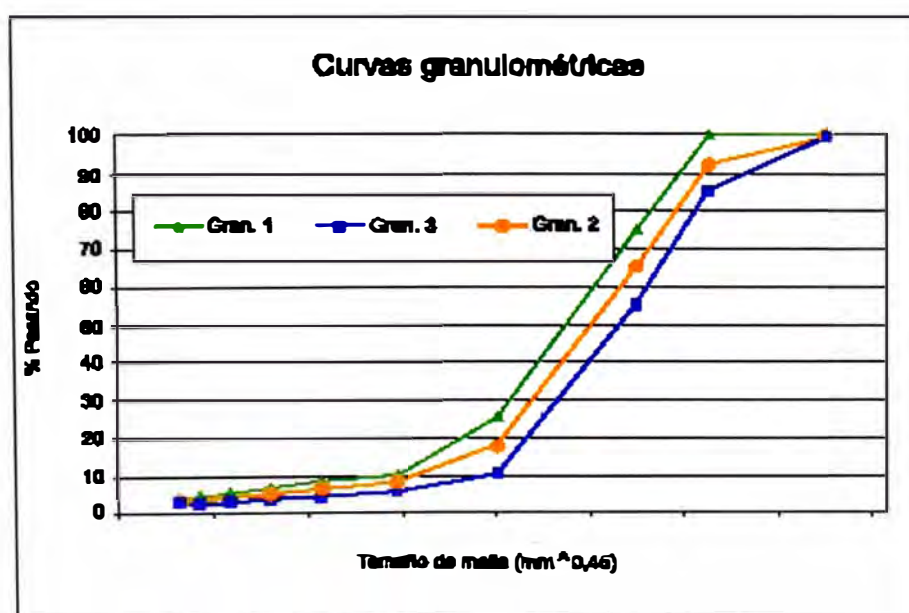


Tabla No. 5: Diseños de mezcla realizados para la selección de la granulometría óptima.

Propiedad	Granulometría 1				Granulometría 2			
% asfalto	3,5	4,0	4,5	5,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Vacios	23,6	22,2	20,0	20,8	23	23,5	22,4	21,8
VCA _{mix}	46,1	46,0	45,1	46,3	40,4	41,5	41,5	42,0
VCA _{DRC}	43,4				43,1			
Escurrimiento	0,049	0,068	0,107	0,325	0,029	0,029	0,056	0,058

Propiedad	Granulometría 3			
% asfalto	3,5	4,0	4,5	5,0
Vacios	25,3	24,4	24,9	23,9
VCA _{mix}	37,6	37,7	38,6	38,6
VCA _{DRC}	43,1			
Escurrimiento	0,039	0,087	0,092	0,197

De los diseños realizados se determinó que la granulometría 1 no cumplía con el criterio de $VCA_{mix} < VCA_{DRC}$, y en 5.0% de asfalto por peso total de agregado ya se presentaban problemas de escurrimiento. Las granulometrías 2 y 3 cumplen con el criterio de $VCA_{mix} < VCA_{DRC}$, y no evidencian problemas de escurrimiento para ninguno de los porcentajes de asfalto analizados. Sin embargo se seleccionó la granulometría 2 ya que fue la granulometría que presentó vacíos más cercanos a 20-22%, con los porcentajes de escurrimiento menores.

3.3.3.1.2 Diseño de mezcla Superpave

Con la granulometría seleccionada, denominada para efectos del informe como granulometría A, se realizaron dos diseños de mezcla usando la metodología Superpave, con 100 giros de diseño. Ambos diseños incluyen 1.5% del polímero tipo EGA y en uno se incorporó fibra de celulosa al 0.5% por peso total de agregado. Para analizar el cambio en la volumetría de la mezcla, se modificó el porcentaje pasando la malla No.4 de 17.5% (granulometría A) a 20% (Granulometría B) en un caso y a 22,5% (Granulometría C) en otro caso. Con estas dos nuevas

granulometrías se hicieron diseños de mezcla con y sin fibra. Los resultados se presentan en la Tabla No.6.

Tabla No. 6: Resultados de los diseños de mezcla Superpave.

Parámetros	Gran. A (No.4= 17,5%)		Gran. B (No.4=20%)		Gran. C (No.4=22,5%)	
	Con fibra	Sin fibra	Con fibra	Sin fibra	Con fibra	Sin fibra
Vacios de diseño (%)	21,0	21,0	N.A	21,0	21,0	21,0
% asfalto (PTA)	5,96	6,00	N.A	5,36	5,89	5,25
VMA (%)	31	30	N.A	29	30	29,4
VFA (%)	31	30	N.A	30	31	28,6
Escurecimiento (%)	0,16	0,84	N.A	0,16	0,35	0,13

Parámetros	Gran. A (No.4= 17,5%)		Gran. B (No.4=20%)		Gran. C (No.4=22,5%)	
	Con fibra	Sin fibra	Con fibra	Sin fibra	Con fibra	Sin fibra
Vacios de diseño (%)	21,5	21,5	N.A	21,5	21,5	N.A
% asfalto (PTA)	5,52	5,67	N.A	5,06	5,42	N.A
VMA (%)	33	30	N.A	30	30	N.A
VFA (%)	28	29	N.A	26	29	N.A
Escurecimiento (%)	0,13	0,35	N.A	0,09	0,22	N.A

Parámetros	Gran. A (No.4= 17,5%)		Gran. B (No.4=20%)		Gran. C (No.4=22,5%)	
	Con fibra	Sin fibra	Con fibra	Sin fibra	Con fibra	Sin fibra
Vacios de diseño (%)	22,0	22,0	22,0	N.A	22,0	N.A
% asfalto (PTA)	5,09	5,30	5,36	N.A	5,00	N.A
VMA (%)	32	30	30,4	N.A	30	N.A
VFA (%)	27	27	27,3	N.A	26	N.A
Escurecimiento (%)	0,09	0,13	0,14	N.A	0,12	N.A

Con los especímenes fabricados para cada uno de los puntos de los seis diseños de mezcla, se realizaron ensayos de módulo resiliente y deformación permanente. El ensayo de módulo resiliente se hizo tanto condicionado a 60°C por 24 horas como sin condicionar. Los resultados obtenidos se presentan en las siguientes tablas.

Tabla No. 7: Resultados de módulo resiliente sin fibra. Granulometría A.

% Asfalto (PTA)	% Vacios	Sin fibra (Granulometría A)			
		Módulo resiliente (MPa) Sin condicionar		Módulo resiliente (MPa) Condicionado	
		Carga 500N	Carga 1000N	Carga 500N	Carga 1000N
5.0	22,1	1577	1214	1359	999
Promedio	21,9	1695	1325	-	-
	22,9	1235	939	-	-
	22,3	1502	1159	1359	999
Desv. Est.	0,5	239	199	-	-
5.5	21,7	1365	1030	1293	944
Promedio	22,0	1340	999	-	-
	22,1	1276	1045	-	-
	21,9	1327	1025	1293	944
Desv. Est.	0,2	46	23	-	-
6.0	21,4	1237	964	1026	769
Promedio	20,9	1516	1183	-	-
	20,6	1526	1188	-	-
	21,0	1426	1111	1026	789
Desv. Est.	0,4	164	128	-	-

Tabla No. 8: Resultados de módulo resiliente con fibra. Granulometría A.

% Asfalto (PTA)	% Vacios	Con fibra (Granulometría A)			
		Módulo resiliente (MPa) Sin condicionar		Módulo resiliente (MPa) Condicionado	
		Carga 500N	Carga 1000N	Carga 500N	Carga 1000N
5.0	22,2	1375	1035	-	-
Promedio	22,1	1395	951	-	-
	22,2	1352	1000	1347	897
	22,2	1374	995	1347	897
Desv. Est.	0,1	22	42	-	-
5,5	23,1	1005	727		
Promedio	21,4	1710	1220	-	-
	21,4	1312	946	1185	874
	22,0	1342	964	1185	874
Desv. Est.	1,0	353	247	-	-
6,0	20,8	1209	976		
Promedio	21,4	857	693	-	-
	20,8	1293	880	1194	846
	21,0	1120	850	1194	846
Desv. Est.	0,3	231	144	-	-

Tabla No. 9: Resultados de módulo resiliente retenido. Granulometría A.

% Asfalto (PTA)	MRR (%)			
	Sin fibra		Con fibra	
	Carga 500N	Carga 1000N	Carga 500N	Carga 1000N
5,0	90	86	98	90
5,5	97	92	88	91
6,0	72	69	107	100

Tabla No. 10: Resultados de módulo resiliente sin fibra. Granulometría B.

% Asfalto (PTA)	% Vacios	Sin fibra (Granulometría B)			
		Módulo resiliente (MPa)		Módulo resiliente (MPa)	
		Sin condicionar		Condicionado	
		Carga 500N	Carga 1000N	Carga 500N	Carga 1000N
5,0	21,6	1599	1211	-	-
Promedio	22,5	1256	1006	-	-
	21,5	1627	1289	1369	1119
	21,9	1494	1169	1369	1119
Desv. Est.	0,6	207	146	-	-
5,5	20,6	1719	1309	-	-
Promedio	20,0	2127	1622	-	-
	20,2	1539	1257	1465	1196
	20,3	1795	1396	1465	1196
Desv. Est.	0,3	301	197	-	-
6,0	20,6	1675	1338	-	-
Promedio	21,2	1048	790	-	-
	19,1	1781	1309	1600	1391
	20,3	1501	1146	1600	1391
Desv. Est.	1,1	396	308	-	-

Tabla No. 11: Resultados de módulo resiliente con fibra. Granulometría B.

% Asfalto (PTA)	Con fibra				
	% Vacios	Módulo resiliente (MPa) Sin condicionar		Módulo resiliente (MPa) Condicionado	
5,0	22,4	1415	1151	-	-
Promedio	22,3	1952	1636	-	-
	21,2	1896	1460	1507	1085
	22,0	1754	1416	1507	1085
Desv. Est.	0,7	295	246	-	-
5,5	20,2	2059	1657	-	-
Promedio	22,3	1411	1134	-	-
	22,1	1285	988	979	804
	21,5	1585	1260	979	804
Desv. Est.	1,2	415	352	-	-
6,0	21,2	1381	1108	-	-
Promedio	22,5	1068	867	-	-
	21,8	1197	962	936	749
	21,8	1212	979	936	749
Desv. Est.	0,7	162	121	-	-

Tabla No. 12: Resultados de módulo resiliente retenido. Granulometría B.

% Asfalto (PTA)	MRR (%)			
	Sin fibra		Con fibra	
	Carga 500N	Carga 1000N	Carga 500N	Carga 1000N
5,0	92	96	86	77
5,5	82	86	62	64
6,0	107	121	77	77

Tabla No. 13: Resultados de módulo resiliente sin fibra. Granulometría C.

% Asfalto (PTA)	Sin fibra (Granulometría C)				
	% Vacíos	Módulo resiliente (MPa) Sin condicionar		Módulo resiliente (MPa) Condicionado	
		Carga 500N	Carga 1000N	Carga 500N	Carga 1000N
5.0	20,9	1703	1389	-	-
Promedio	21,7	1275	1040	-	-
	21,3	1604	1299	1363	1101
	21,3	1527	1243	1363	1101
Desv. Est.	0,4	224	181	-	-
5.5	20,4	1435	1141	-	-
Promedio	20,6	1405	1086	-	-
	21,0	1222	954	1150	903
	20,7	1354	1060	1150	903
Desv. Est.	0,3	115	96	-	-
6.0	19,9	1347	1058	-	-
Promedio	20,5	903	712	-	-
	-	-	-	-	-
	20,2	1125	885	-	-
Desv. Est.	0,4	314	245	-	-

Tabla No. 14: Resultados de módulo resiliente con fibra. Granulometría C.

% Asfalto (PTA)	Con fibra (Granulometría C)				
	% Vacíos	Módulo resiliente (MPa) Sin condicionar		Módulo resiliente (MPa) Condicionado(*)	
		Carga 500N	Carga 1000N	Carga 500N	Carga 1000N
5.0	22,1	1685	1252	-	-
Promedio	22,3	1559	1218	-	-
	22,3	1147	925	1048	764
	22,2	1464	1132	1048	764
Desv. Est.	0,1	281	180	-	-
5.5	20,5	1890	1528	-	-
Promedio	21,3	1559	1183	-	-
	21,0	1610	1199	1140	880
	20,9	1686	1303	1140	880
Desv. Est.	0,4	178	195	-	-
6.0	22	1396	1051	-	-
Promedio	20,7	1489	1154	-	-
	20,6	1486	1119	975	699
	21,1	1457	1108	975	699
Desv. Est.	0,8	53	52	-	-

Tabla No. 15: Resultados de módulo resiliente retenido. Granulometría C.

% Asfalto (PTA)	MRR (%)			
	Sin fibra		Con fibra	
	Carga 500N	Carga 1000N	Carga 500N	Carga 1000N
5,0	89	89	72	68
5,5	85	85	68	68
6,0	-	-	67	63

Planteando el modelo Módulo = f(contenido de asfalto, aditivo, granulometría) se realizó un análisis de varianza para los resultados de módulo resiliente sin condicionar, obtenidos para la carga de 500 N. Los resultados del análisis se presentan en la Tabla No. 16

En las Tablas No.17, 18 y 19 se presentan los resultados obtenidos de deformación permanente, usando la pista de ensayo de Georgia (APA).

Tabla No. 16 : Análisis de varianza realizado al 90% de confianza, para módulo resiliente sin condicionar.

Parámetro	Factores experimentales		
	Contenido de asfalto	Aditivo	Granulometría
Módulo resiliente	Sí	No	Sí

En las Tablas No.17, 18 y 19 se presentan los resultados obtenidos de deformación permanente, usando la pista de ensayo de Georgia (APA).

Tabla No. 17 : Deformaciones permanentes. Granulometría A

% Asfalto (PTA)	Sin fibra			Con fibra		
	% Vacíos	Prom. vacíos (%)	Deform. (mm)	% Vacíos	Prom. vacíos (%)	Deform. (mm)
5,0	21,9	22,4	4,0	22,2	22,2	2,6
	22,9			22,1		
5,5	22	22,1	4,3	23,1	22,3	3,1
	22,1			21,4		
6,0	20,9	20,8	4,6	20,8	21,1	3,7
	20,6			21,4		

Tabla No. 18: Deformaciones permanentes. Granulometría B

% Asfalto (PTA)	Sin fibra			Con fibra		
	% Vacios	Prom. vacios (%)	Deform. (mm)	% Vacios	Prom. vacios (%)	Deform. (mm)
5.0	21,6	22,1	4,1	22,4	22,4	1,6
	22,5			22,3		
5.5	20,6	20,3	3,8	20,2	21,3	3,4
	20			22,3		
6.0	20,6	20,9	4,9	21,2	21,9	4,3
	21,2			22,5		

Tabla No. 19: Deformaciones permanentes. Granulometría C

% Asfalto (PTA)	Sin fibra			Con fibra		
	% Vacios	Prom. vacios (%)	Deform. (mm)	% Vacios	Prom. vacios (%)	Deform. (mm)
5.0	20,9	21,3	3,0	22,1	22,2	3,1
	21,7			22,3		
5.5	20,4	20,5	3,3	20,5	20,9	3,8
	20,6			21,3		
6.0	19,9	20,2	3,6	22,0	21,4	3,5
	20,5			20,7		

A partir de estos resultados, se fijó en 21% el porcentaje de vacíos de diseño y se seleccionó la granulometría C, sin fibra, para continuar con el estudio, ya que era la que presentaba menores deformaciones plásticas .

3.3.3.1.3 Ensayos de desempeño para el contenido óptimo de asfalto. Gran C sin fibra

Con el fin de evaluar el desempeño de la mezcla seleccionada (granulometría C sin fibra), se realizaron ensayos de deformación permanente a 60 y 70°C variando el número de ciclos, ensayos de módulo resiliente, con el fin de obtener el porcentaje de módulo retenido luego de condicionar los especímenes 24 horas a 60° C y ensayos de resistencia a la compresión uniaxial y resistencia a tensión diametral.

Deformación permanente

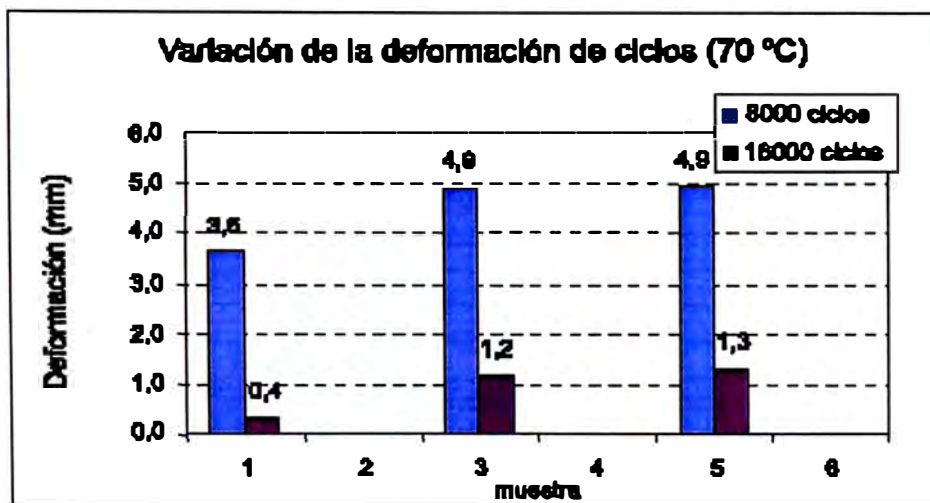
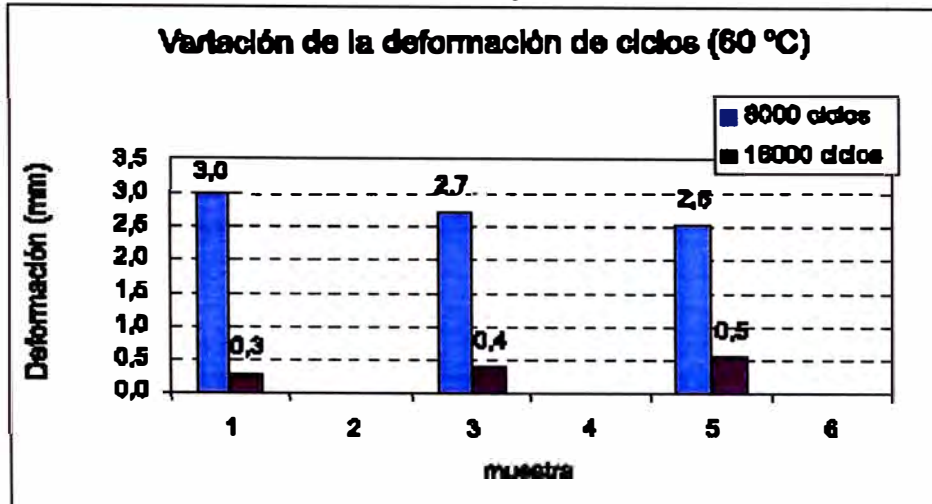
La primera corrida del ensayo se realizó a 8000 ciclos de carga. Una vez concluido el ensayo, los especímenes fueron nuevamente sometidos a otros 8000 ciclos de carga. Esto se realizó a dos distintas temperaturas: 60 y 70°C. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla No. 20.

En el gráfico No.2 se observa la variación de la deformación según el número de ciclos de carga para las temperaturas de 60 y 70°C.

Tabla No. 20. Resultados de deformación permanente. Granulometría C.

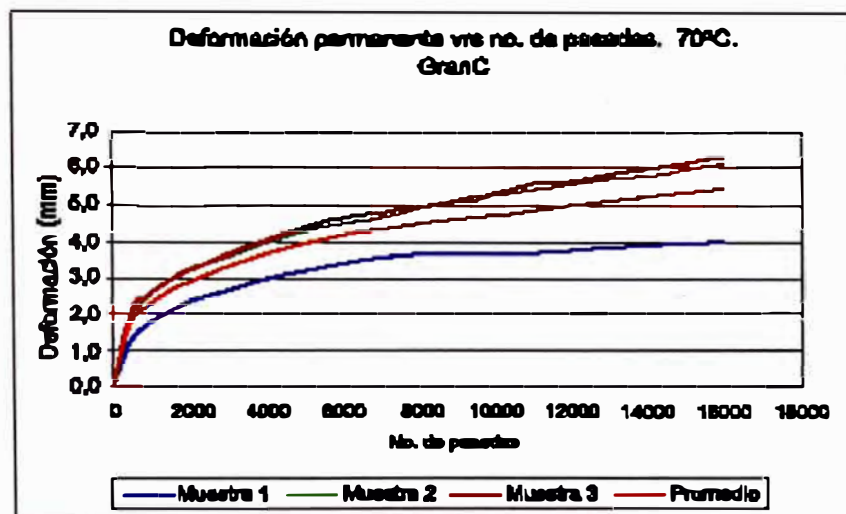
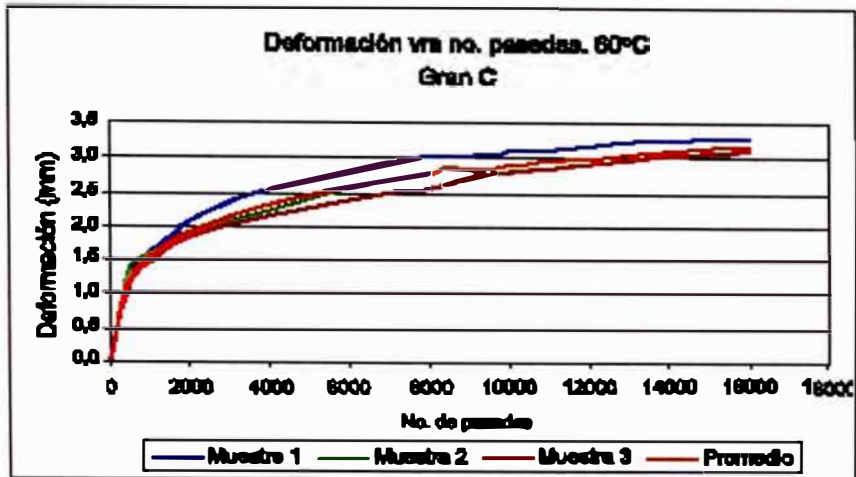
60°C Primer ciclo			60°C Segundo ciclo		
% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Deformación (mm)	% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Deformación (mm)
22,3	22,9	3,0	22,3	22,9	0,3
23,5			23,5		
23,3	23,8	2,7	23,3	23,8	0,4
24,3			24,3		
22,6	23,2	2,5	22,6	23,2	0,5
23,8			23,8		
23,3	-	2,8	23,3	-	0,4
0,7	-	0,2	0,7	-	0,1
70°C Primer ciclo			70°C Segundo ciclo		
% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Deformación (mm)	% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Deformación (mm)
23,1	22,8	3,6	23,1	22,8	0,4
22,4			22,4		
23,3	23,4	4,9	23,3	23,4	1,2
23,4			23,4		
23,4	23,4	4,9	23,4	23,4	1,3
23,4			23,4		
23,2	-	4,5	23,2	-	1,0
0,4	-	0,7	0,4	-	0,5

Gráfico No. 2: Variación de la deformación según el número de ciclos. Gran C sin fibra



De estos resultados se puede comentar que a la temperatura de 60°C, del primer ciclo al segundo ciclo, se produce un aumento de deformación entre un 10 y un 20%, mientras que para la temperatura de 70°C el aumento varía entre un 11 y un 27%. Comparando ambas temperaturas, se observa que para el primer ciclo, la deformación a 60°C varía entre un 51 y un 83% de la deformación medida a 70°C, mientras que para el segundo ciclo, el porcentaje varía entre un 39 y un 75%. En el gráfico No. 3 se observa la variación de la deformación versus el número de pasadas.

Gráfico No. 3: Deformación permanente vrs número de pasadas. Gran C



Módulo resiliente

Se realizaron ensayos de módulo resiliente, obtenido mediante la tensión indirecta, para especímenes secos y especímenes condicionados a 60°C por 24 horas. Con estos resultados se obtuvo el porcentaje de módulo resiliente retenido, un indicador para analizar la resistencia de la mezcla al efecto del agua.

Los resultados obtenidos para la mezcla fabricada con la granulometría C y sin fibra de celulosa, se muestran en la Tabla No.21. Los módulos resilientes retenidos se muestran en la Tabla No.22.

Tabla No. 21: Módulo resiliente. Granulometría C

	% Vacios	Módulo resiliente (MPa) Sin condicionar		Módulo resiliente (MPa) Condicionado	
		Carga 2000N	Carga 3000N	Carga 2000N	Carga 3000N
	22,3	1216	1075	-	-
	23,5	1104	992	-	-
	23,3	960	902	-	-
	24,3	893	773	-	-
	22,6	1066	981	-	-
	23,8	804	779	-	-
	22,0	1668	1465	1027	1085
	22,7	1387	1175	1199	1129
	23,2	1146	1088	983	908
	22,1	1510	1377	1325	1206
	22,5	1379	1296	1202	1077
	23,2	1192	1079	1116	1032
Promedio	22,6	1360	1251	1214	1105
Desv. Est.	0,6	160	154	105	90

Tabla No. 22: Módulos resilientes retenidos. Granulometría C

	carga 2000N	carga 3000N
MRR (%)	89	88

Resistencia al efecto del agua Con el fin de medir la resistencia al efecto del agua de la granulometría C sin fibra, se realizaron los ensayos de compresión uniaxial y resistencia retenida a la tensión diametral. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla No. 23.

Tabla No. 23: Ensayos de resistencia retenida. Gran C sin fibra

Resistencia a la tensión diametral indirecta				
Vacios	Resistencia seca (MPa)	Vacios	Resistencia cond. (MPa)	% RTD
21,5	0,57	21,7	0,44	78
21,3	0,55	21,5	0,45	
21,1	0,60	20,5	0,43	
20,1	0,59	20,4	0,49	
Resistencia a la compresión uniaxial retenida				
Vacios	Resistencia seca (MPa)	Vacios	Resistencia cond. (MPa)	%RCU
24,5	1,60	21,7	1,30	77
23,2	1,60	21,5	1,30	
23	1,70	20,5	1,30	
23,2	1,80	20,4	1,30	

3.3.3.1.4 Diseño de mezcla Marshall

Con el objetivo de comparar los resultados obtenidos del diseño Superpave, se realizó un diseño de mezcla Marshall con la granulometría C sin fibra, con el fin de comparar las principales propiedades volumétricas de la mezcla. Los resultados se muestran en la Tabla No.24.

Tabla No. 24: Comparación de algunas propiedades volumétricas. Metodologías de diseño Marshall y Superpave. Granulometría C

Parámetros	Metodología Marshall	Metodología Superpave
Vacios de diseño (%)	21%	21%
% asfalto (PTA)	5,7%	5,3%
VMA (%)	29,9%	29,4%
VFA (%)	29,1%	28,6%
Escurrimiento (%)	0,18%	0,13%

Como se observa en la tabla, las variaciones no son muy grandes entre uno y otro diseño, por lo que se decidió seguir trabajando con los diseños Superpave.

3.3.3.2 Segunda etapa

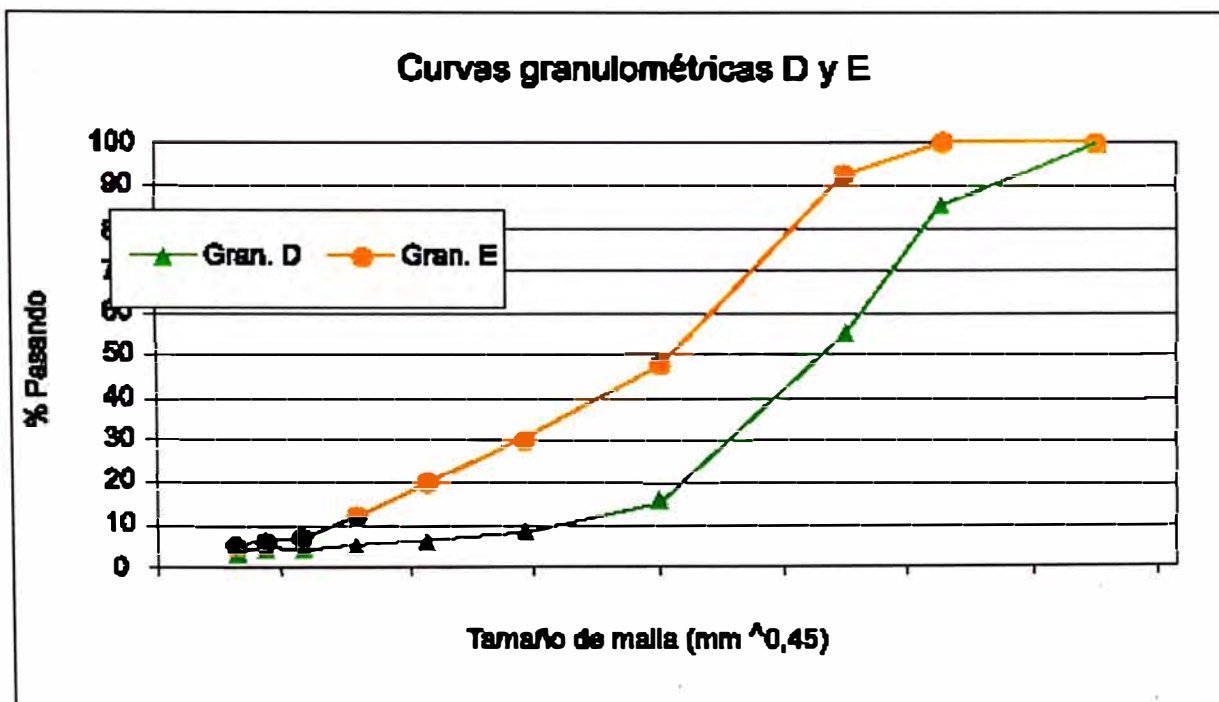
En la segunda etapa se plantearon dos nuevas granulometrías, denominadas para efectos del informe como granulometrías D y E, para hacer los respectivos diseños de mezcla, los cuales incluyen un diseño con fibra de celulosa y otro sin fibra.

En la Tabla No. 25 y en el gráfico No. 4 se presentan las granulometrías D y E.

Tabla No. 25: Granulometrías D y E

Malla #	% Pasando	
	D	E
19 mm	100,0	100,0
12,7 mm	85,0	100,0
9,5 mm	55,0	92,5
No. 4	15,0	47,5
No. 8	8,0	30,0
No. 16	6,0	20,0
No. 30	5,0	12,0
No. 50	4,0	7,0
No. 100	3,5	6,0
No. 200	3,0	5,0

Gráfico No. 4: Curvas granulométricas D y E.



En la Tabla No. 26 se presenta el resumen de los diseños de mezcla.

Tabla No. 26: Resumen de los diseños de mezcla realizados con las granulometrías D y E.

Parámetros	D		E	
	Con fibra	Sin fibra	Con fibra	Sin fibra
Vacios de diseño (%)	21	21	15	13,5
% asfalto (PTA)	5,6	5,1	5,1	5,1
VMA (%)	29,6	28,2	23,0	21,8
VFA (%)	29	28	36	39
Escurecimiento (%)	0,15	0,20	0,04	0,02

Con la granulometría E no se logró alcanzar los vacíos de diseño, por lo que no se consideró para futuros análisis.

Con el fin de seleccionar entre la granulometría D, con fibra y sin fibra, se hicieron ensayos de desempeño para cada uno de los contenidos de asfalto del diseño, tanto para módulo resiliente como para deformación permanente, medida en laboratorio con la pista de ensayo de Georgia (APA). Los resultados se presentan en las siguientes tablas y gráficos.

De aquí se seleccionó la Gran. D con fibra para evaluar el desempeño para el contenido óptimo de asfalto.

Tabla No. 27: Resultados del ensayo de módulo resiliente para cada punto del diseño de mezcla. Granulometría D sin fibra.

% Asfalto (PTA)	Sin fibra (Granulometría D)				
	% Vacíos	Módulo resiliente (MPa) Sin condicionar		Módulo resiliente (MPa) Condicionado	
5.0	19,5	1633	1519	-	-
	21,3	1505	1381	-	-
	21,8	1221	1088	934	879
Promedio	20,9	1453	1329	934	879
Desv. Est.	1,2	211	220	-	-
5.5	20,4	1438	1375	-	-
	20,3	1621	1437	-	-
	22,3	1238	1136	1028	965
Promedio	21,0	1432	1316	1028	965
Desv. Est.	1,1	192	159	-	-
6.0	22,5	1419	1354	-	-
	18,6	1489	1374	-	-
	17,7	1679	1487	1286	1236
Promedio	19,6	1529	1405	1286	1236
Desv. Est.	2,6	135	72	-	-

Tabla No. 28: Resultados del ensayo de módulo resiliente para cada punto del diseño de mezcla Granulometría D con fibra.

% Asfalto (PTA)	Con fibra (Granulometría D)				
	% Vacíos	Módulo resiliente (MPa) Sin condicionar		Módulo resiliente (MPa) Condicionado	
5.0	23,5	1131	1064	-	-
	22,3	1367	1247	-	-
	22,3	1505	1400	1103	994
Promedio	22,9	1334	1237	1103	994
Desv. Est.	0,5	189	168	-	-
5.5	20,9	1581	1456	-	-
	20,8	1265	1132	-	-
	20,9	1654	1427	1094	985
Promedio	20,9	1500	1338	1094	985
Desv. Est.	0,1	207	179	-	-
6.0	19,2	1280	1189	-	-
	19,7	1491	1372	-	-
	21,5	1234	1142	865	768
Promedio	20,1	1335	1234	865	768
Desv. Est.	1,2	137	122	-	-

Tabla No. 29: Módulo resiliente retenido, según porcentaje de asfalto. Granulometría D.

% Asfalto (PTA)	MRR (%)			
	Sin fibra		Con fibra	
	Carga 500N	Carga 1000N	Carga 500N	Carga 1000N
5,0	64	66	83	80
5,5	72	73	73	74
6,0	84	88	65	62

Tabla No. 30: Deformación permanente para cada punto del diseño de mezcla. Granulometría D.

% Asfalto (PTA)	Sin fibra (SP-011-04)			Con fibra (SP-012-04)		
	% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Def. (mm)	% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Def. (mm)
5.0	19,5	20,4	3,1	23,5	23,1	3,6
	21,3			22,6		
5.5	20,4	20,4	3,4	20,9	20,9	3,0
	20,3			20,8		
6.0	22,5	20,6	3,8	19,2	19,5	3,1
	18,6			19,7		

3.3.2.1 Ensayos de desempeño para el contenido óptimo de asfalto. Gran D con fibra

Con el fin de evaluar el desempeño de la gran D con fibra, se realizaron ensayos de deformación permanente a 60 y 70°C para el contenido óptimo de asfalto (5.6% PTA), variando el número de ciclos, ensayos de módulo resiliente y ensayos de resistencia al efecto del agua.

Deformación permanente

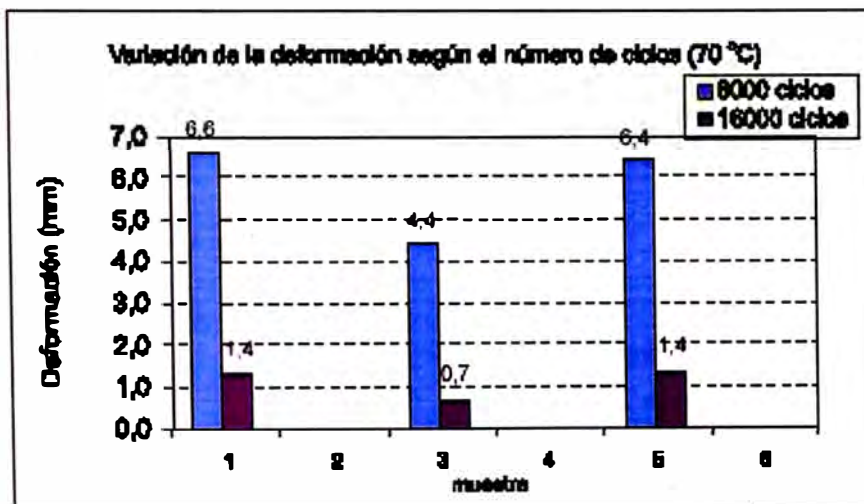
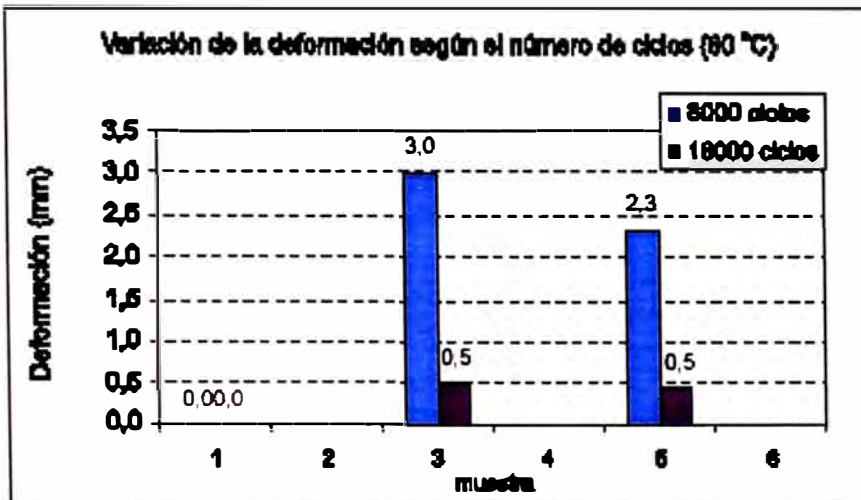
La primera corrida del ensayo se realizó a 8000 ciclos de carga. Una vez concluido el ensayo, los especímenes fueron nuevamente sometidos a otros 8000 ciclos de carga. Esto se realizó a dos distintas temperaturas: 60 y 70°C. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla No. 31 (están pendientes los resultados para 60°C).

Tabla No. 31: Deformación permanente para el contenido óptimo de asfalto.

60°C (Gran D con fibra) Primer ciclo			60°C (Gran D con fibra) Segundo ciclo		
% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Deformación (mm)	% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Deformación (mm)
26,1	24,8	-	26,1	24,8	-
23,5			23,5		
24,9	2,48	3,0	24,9	24,8	0,5
24,7			24,7		
23,8	23,8	2,3	23,8	23,8	0,5
23,8			23,8		
24,5	-	2,7	24,5	-	0,5
1,0	-	0,5	1,0	-	0,0
60°C (Gran D con fibra) Primer ciclo			60°C (Gran D con fibra) Segundo ciclo		
% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Deformación (mm)	% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Deformación (mm)
25,1	24,7	6,6	25,1	24,7	1,4
24,3			24,3		
25,1	24,7	4,4	25,1	24,8	0,7
24,4			24,4		
24,6	24,6	6,4	24,6	24,6	1,4
24,5			24,5		
24,7	-	5,8	24,7	-	1,1
0,4	-	1,2	0,4	-	0,4

En el gráfico No.5 se observa la variación de la deformación según el número de ciclos de carga para las temperaturas de 60 y 70°C.

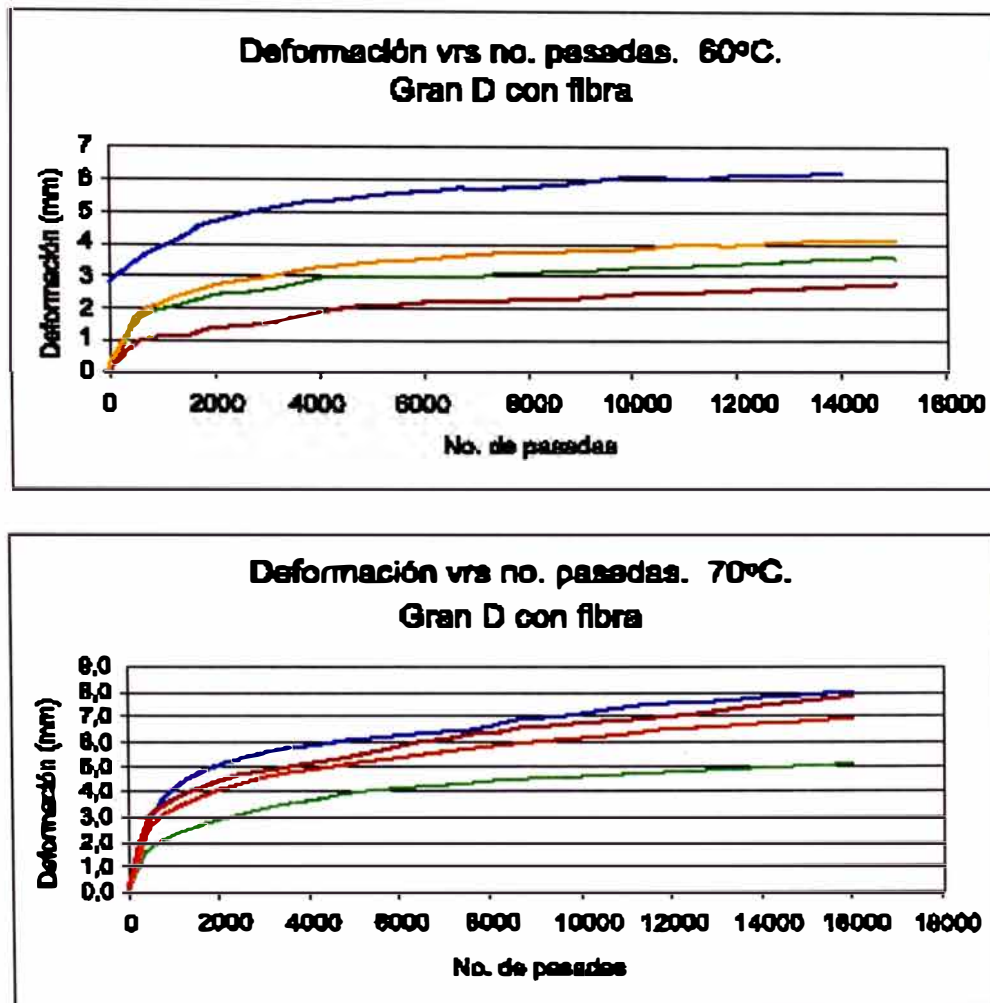
Gráfico No. 5: Variación de la deformación según el número de ciclos. Gran D con fibra.



De estos resultados se puede comentar que para ambas temperatura, del primer ciclo al segundo ciclo, se produce un aumento de deformación entre un 16 y un 22%.

En el gráfico No.6 se observa la variación de la deformación vrs el número de pasadas.

Gráfico No. 6: Deformación permanente vrs número de pasadas. Gran D con fibra.



Módulo resiliente

Se realizaron ensayos de módulo resiliente, obtenido mediante la tensión indirecta, para especímenes secos. Los especímenes condicionados no se pudieron ensayar debido a que durante el condicionamiento se deformaron.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla No.32.

Tabla No. 32: Módulos resilientes obtenidos. Gran D con fibra

	% Vacios	Módulo resiliente (MPa)	
		Sin condicionar	
	25,3	948	705
	24,8	1290	947
	27,1	1023	723
	25,2	1160	916
	24,1	1134	860
	24,6	1010	811
	25,5	1135	921
	24,5	1079	854
	24,2	1030	845
	24,4	1150	888
	24,9	1037	806
	26,5	1139	886
Promedio	25,3	1095	847
Desv. Est.	1,1	92	75

Resistencia al efecto del agua

Con el fin de medir la resistencia al efecto del agua de la granulometría D con fibra, se realizaron los ensayos de compresión uniaxial y resistencia retenida a la tensión diametral. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla No. 33.

Tabla No. 33: Ensayos de resistencia retenida. Gran D con fibra

Resistencia a la tensión diametral indirecta*				
Vacios	Resistencia seca (MPa)	Vacios	Resistencia cond. (MPa)	% RTD
24,7	0,46	24,3	0,47	83
24,9	0,40	23,7	0,44	
26,4	0,35	23,8	0,53	
25,6	0,36	30,0	0,44	
Resistencia a la compresión uniaxial retenida				
Vacios	Resistencia seca (MPa)	Vacios	Resistencia cond. (MPa)	% RCU
24,6	1,2	25,1	0,6	59
25,2	1,2	24,3	0,6	
23,1	1,3	23,7	0,8	
24,4	1,2	24,4	0,7	

3.3.3.3 Tercera etapa

En la tercera etapa del proyecto, se incluyó la cal como aditivo. La primera granulometría analizada fue la granulometría C, sin fibra de celulosa. Los resultados del diseño de mezcla se presentan en la Tabla No.34.

Tabla No. 34: Resultados del diseño de mezcla con cal. Gran. C sin fibra

Vacios (%)	21,0%
Asfalto (%PTA)	5,0%
VMA (%)	29,3
VFA (%)	28
Densidad (kg/m ³)	1955
Escurecimiento (%)	0,03

Se analizó, para cada contenido del asfalto de diseño de mezcla, el módulo resiliente y la deformación permanente a 60°C. Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas

Tabla No. 35: Resultados del ensayo de módulo resiliente para cada punto del diseño de mezcla. Granulometría C + cal.

% Asfalto (PTA)	% Vacios	Sin fibra (Gran C+cal)			
		Módulo resiliente (MPa) Sin condicionar		Módulo resiliente (MPa) Condicionado	
		Carga 500N	Carga 1000N	Carga 500N	Carga 1000N
5,0	21	2092	1847	-	-
	21,6	1385	1229	-	-
	20,6	2281	1975	2187	1926
Promedio	21,1	1919	1684	2187	1926
Desv. Est.	0,5	472	399	-	-
5,5	20,4	1696	1438	-	-
	19,8	2205	1885	-	-
	20,4	1859	1665	2081	1941
Promedio	20,2	1920	1663	2081	1941
Desv. Est.	0,3	260	224	-	-
6,0	19,4	2013	1649	-	-
	19,8	1836	1499	-	-
	18,9	1808	1581	2206	1830
Promedio	19,4	1886	1576	2206	1830
Desv. Est.	0,5	111	75	-	-

Tabla No. 36: Módulo resiliente retenido, según porcentaje de asfalto. Granulometría C+cal.

% Asfalto (PTA)	MRR (%) Sin fibra	
	Carga 500N	Carga 1000N
	500 N	1500 N
5,0	114	114
5,5	108	117
6,0	117	116

Tabla No. 37: Deformación permanente para cada punto del diseño de mezcla. Granulometría C+cal.

% Asfalto (PTA)	Sin fibra (Gran C+cal)		
	% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Deformación (mm)
5,0	21	21,3	3,0
	21,6		
5,5	20,4	20,1	2,8
	19,8		
6,0	19,4	19,6	3,6
	19,8		
Promedio	20,3	-	3,1
Desv. Est	0,8	-	0,4

3.3.3.3.1 Ensayos de desempeño para el contenido óptimo de asfalto. Gran C+cal

Con el fin de evaluar el desempeño de la gran C con cal, se realizaron ensayos de deformación permanente a 60 y 70°C para el contenido óptimo de asfalto (5.0% PTA), variando el número de ciclos, ensayos de módulo resiliente, con el fin de obtener el porcentaje de módulo retenido luego de condicionar los especímenes 24 horas a 60° C y ensayos para medir la resistencia al efecto del agua.

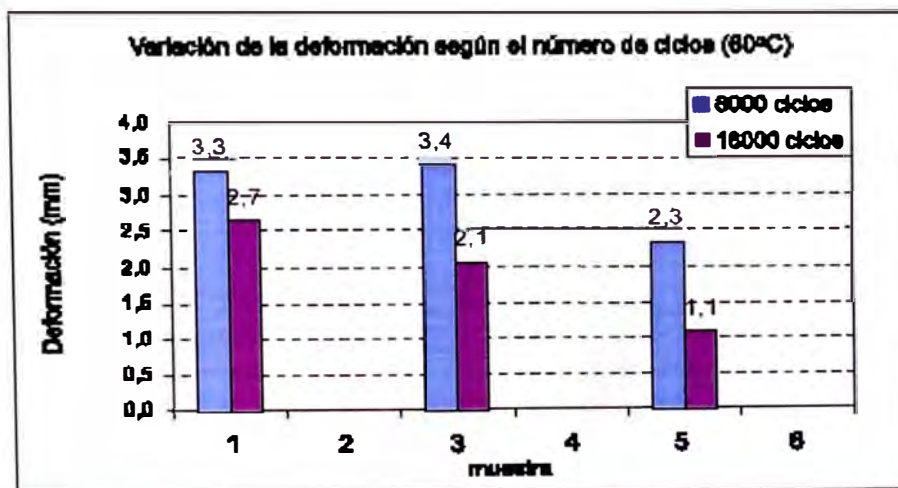
Deformación permanente

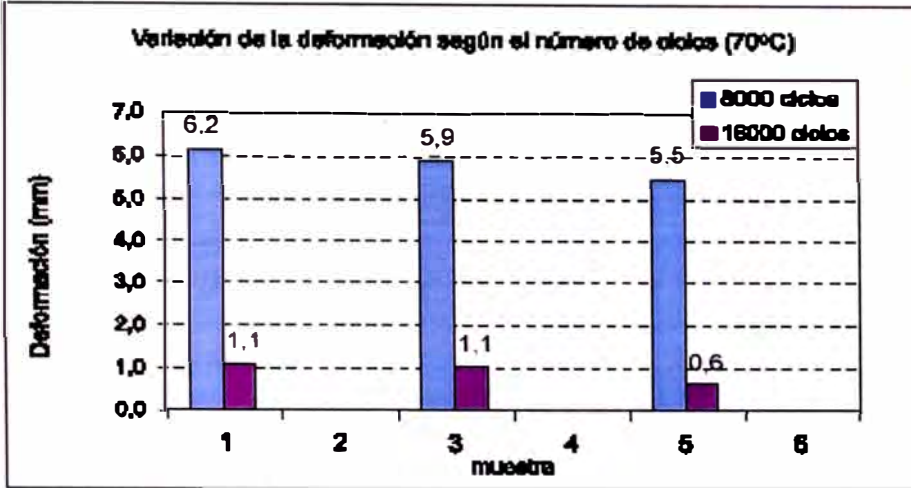
La primera corrida del ensayo se realizó a 8000 ciclos de carga. Una vez concluido el ensayo, los especímenes fueron nuevamente sometidos a otros 8000 ciclos de carga. Esto se realizó a dos distintas temperaturas: 60 y 70°C. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla No. 38.

Tabla No. 38: Deformación permanente para el contenido óptimo de asfalto.

60°C Primer ciclo			60°C Segundo ciclo		
% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Deformación (mm)	% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Deformación (mm)
24,6	24,7	3,3	24,6	24,7	2,7
24,7			24,7		
24,3	24,3	3,4	24,3	24,3	2,1
24,3			24,3		
24,2	24,2	2,3	24,2	24,2	1,1
24,2			24,2		
24,4	-	3,0	24,4	-	1,9
0,4	-	0,6	0,2	-	0,8
70°C (SP-0030-04) Primer ciclo			70°C (SP-030-04) Segundo ciclo		
% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Deformación (mm)	% Vacíos	Prom. Vacíos (%)	Deformación (mm)
23,6	23,8	6,2	23,6	23,8	1,1
24,0			24,0		
24,6	24,4	5,9	24,6	24,4	1,1
24,1			24,1		
23,9	23,7	5,5	23,9	23,7	0,6
23,5			23,5		
24,0	-	5,8	24,0	-	0,9
0,4	-	0,4	0,4	-	0,3

En el gráfico No 7. se observa la variación de la deformación según el número de ciclos de carga para las temperaturas de 60 y 70°C.

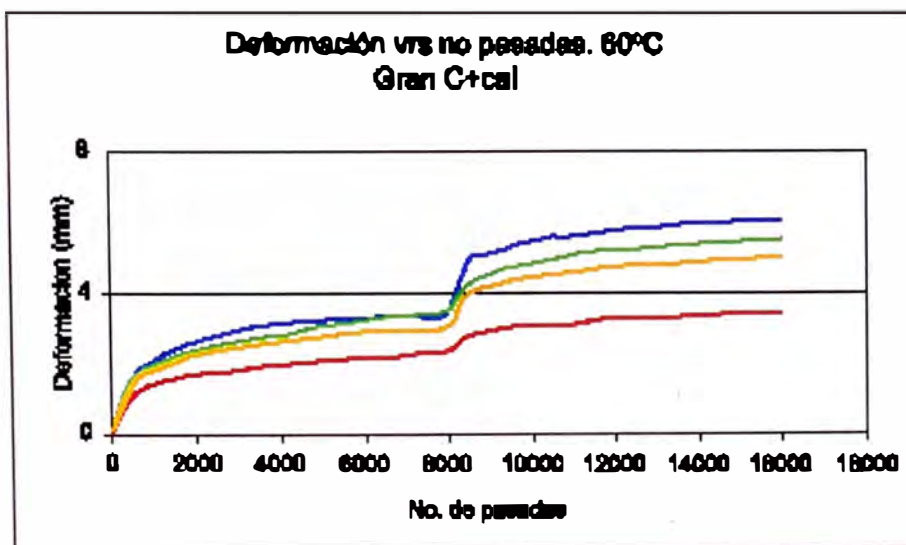


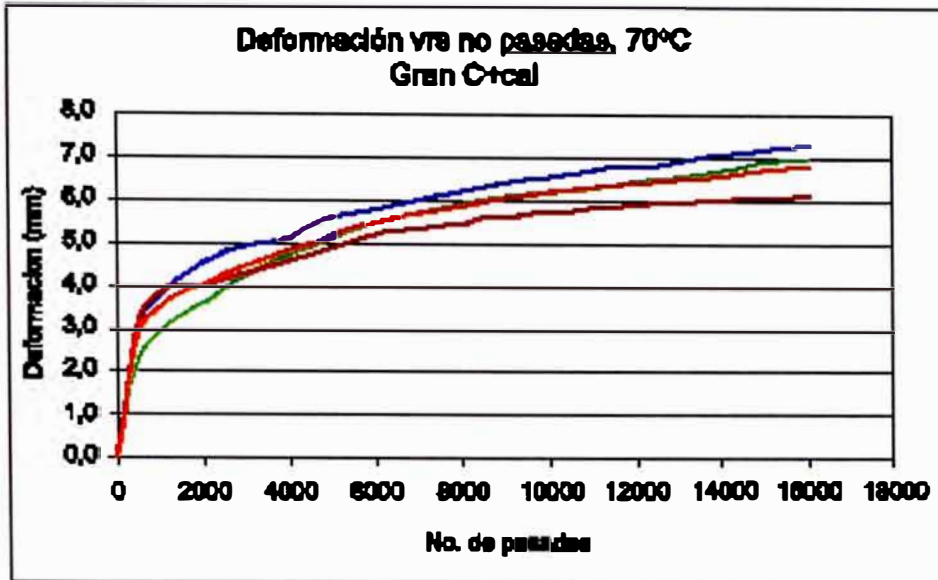


De estos resultados se puede comentar que a la temperatura de 60°C, del primer ciclo al segundo ciclo, se produce un aumento de deformación entre un 50 y un 80%, mientras que para la temperatura de 70°C el aumento varía entre un 11 y un 19%.

En el gráfico No.8 se observa la variación de la deformación vrs el número de pasadas.

Gráfico No. 8: Deformación permanente vrs número de pasadas. Gran C +cal.





Módulo resiliente

Se realizaron ensayos de módulo resiliente, obtenido mediante la tensión indirecta, para especímenes secos y especímenes condicionados a 60°C por 24 horas. Con estos resultados se obtuvo el porcentaje de módulo resiliente retenido, un indicador para analizar la resistencia de la mezcla al efecto del agua. Los resultados obtenidos para la mezcla fabricada con la granulometría C con cal, se muestran en la Tabla No.39. Los módulos resilientes retenidos se muestran en la Tabla No.40.

Tabla No. 39: Módulo resiliente. Granulometría C con cal

% Vacíos	Módulo resiliente (MPa) Sin condicionar		Módulo resiliente (MPa) Condicionado	
	Carga 500 N	Carga 1500N	Carga 500 N	Carga 1500N
23,6	2104	1568	-	-
24,0	2181	1694	-	-
24,6	1357	1115	-	-
24,1	1592	1351	-	-
23,9	2174	1735	-	-
23,5	1842	1479	-	-
24,1	-	-	1873	1558
24,3	-	-	1742	1464
23,6	-	-	1575	1341
23,7	-	-	1845	1572
23,6	-	-	1782	1398
24,1	-	-	1613	1375
Promedio	23,8	1875	1738	1451
Desv. Est	0,3	231	122	97

Tabla No. 40: Módulo resiliente retenido. Gran C con cal

	carga 500N	carga 1500N
MRR (%)	93	97

Resistencia al efecto del agua

Con el fin de medir la resistencia al efecto del agua de la granulometría C con cal, se realizaron los ensayos de compresión uniaxial y resistencia retenida a la tensión diametral. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla No. 41.

Tabla No. 41: Ensayos de resistencia retenida. Gran C con cal

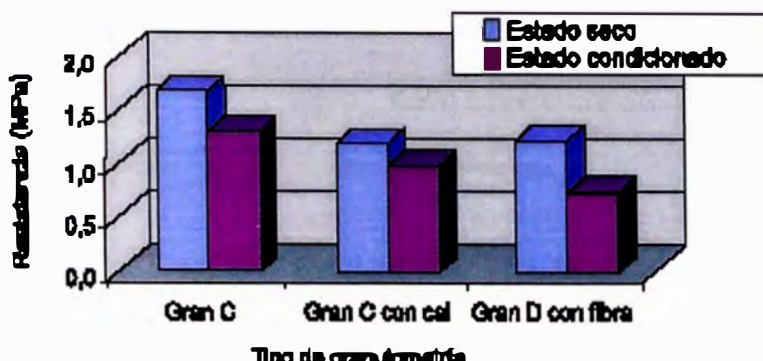
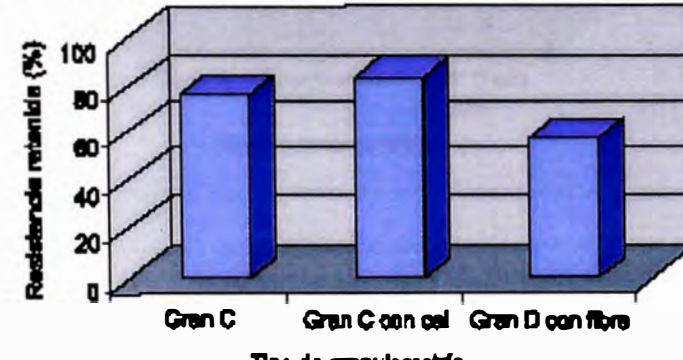
Resistencia a la tensión diametral indirecta*				
Vacios	Resistencia seca (MPa)	Vacios	Resistencia cond. (MPa)	% RTD
22,9	0,51	22,4	0,436	85
22,5	0,49	22,7	0,453	
22,4	0,47	22,9	0,366	
22,4	0,52	22,3	0,441	
Resistencia a la compresión uniaxial retenida				
Vacios	Resistencia seca (MPa)	Vacios	Resistencia cond. (MPa)	% RCU
25,1	1,1	24,8	1,0	84
24,3	1,1	25,0	1,0	
25,2	1,3	24,3	1,0	
24,9	1,3	25,4	1,0	

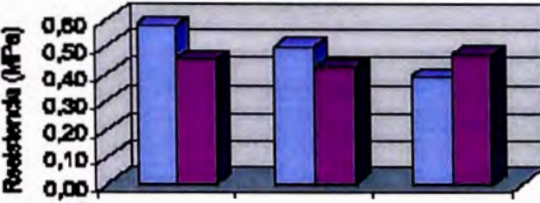
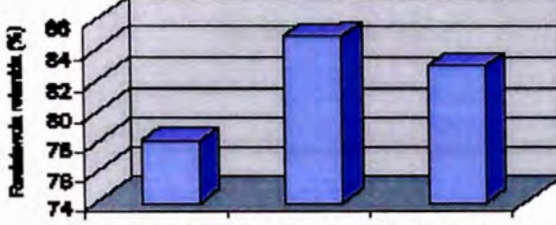
3.3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el fin de comparar las granulometrías seleccionadas en cada una de las tres distintas etapas, se realizaron análisis estadísticos al 90% de confianza, para los parámetros de deformación permanente, módulo resiliente y resistencia al efecto del agua. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla No.42.

Tabla No. 42: Resumen de los análisis realizados a las granulometrías C, C con cal y D con fibra.

Parámetro	Resultado del análisis estadístico
<p style="text-align: center;">Deformación permanente</p> <p style="text-align: center;">Tipo de granulometría</p>	<ul style="list-style-type: none"> No hay evidencia estadística al 90% de confianza de que la granulometría C determine menores deformaciones permanentes que la gran C con cal.

Parámetro	Resultado del análisis estadístico																				
<p>Resistencia al efecto del agua</p> <p style="text-align: center;">Resistencia a la compresión uniaxial</p>  <table border="1" data-bbox="207 649 973 1008"> <caption>Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de granulometría</th> <th>Estado seco (MPa)</th> <th>Estado condicionado (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gran C</td> <td>~1.8</td> <td>~1.4</td> </tr> <tr> <td>Gran C con cal</td> <td>~1.3</td> <td>~1.1</td> </tr> <tr> <td>Gran D con fibra</td> <td>~1.3</td> <td>~0.9</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Porcentaje de resistencia a la compresión uniaxial retenida</p>  <table border="1" data-bbox="255 1097 941 1456"> <caption>Porcentaje de resistencia a la compresión uniaxial retenida (%)</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de granulometría</th> <th>Resistencia retenida (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gran C</td> <td>~85</td> </tr> <tr> <td>Gran C con cal</td> <td>~95</td> </tr> <tr> <td>Gran D con fibra</td> <td>~70</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de granulometría	Estado seco (MPa)	Estado condicionado (MPa)	Gran C	~1.8	~1.4	Gran C con cal	~1.3	~1.1	Gran D con fibra	~1.3	~0.9	Tipo de granulometría	Resistencia retenida (%)	Gran C	~85	Gran C con cal	~95	Gran D con fibra	~70	<ul style="list-style-type: none"> • Se determinó que las tres diferentes granulometrías (con sus respectivos aditivos) determinan diferencias significativas en la resistencia a la compresión uniaxial. • Al 90% de confianza hay evidencia estadística para afirmar que la granulometría C determina mayores resistencias (secas y condicionadas) que la granulometría C con cal y la gran D con fibra.
Tipo de granulometría	Estado seco (MPa)	Estado condicionado (MPa)																			
Gran C	~1.8	~1.4																			
Gran C con cal	~1.3	~1.1																			
Gran D con fibra	~1.3	~0.9																			
Tipo de granulometría	Resistencia retenida (%)																				
Gran C	~85																				
Gran C con cal	~95																				
Gran D con fibra	~70																				

Parámetro	Resultado del análisis estadístico																				
<p data-bbox="167 448 518 470">Resistencia al efecto del agua</p> <div data-bbox="351 492 909 784"> <p data-bbox="422 492 758 515">Resistencia a la tensión diametral</p>  <table border="1"> <caption>Resistencia a la tensión diametral (MPa)</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de granulometría</th> <th>Estado seco</th> <th>Estado condicionado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gran C</td> <td>~0,55</td> <td>~0,45</td> </tr> <tr> <td>Gran C con cal</td> <td>~0,50</td> <td>~0,40</td> </tr> <tr> <td>Gran D con fibra</td> <td>~0,40</td> <td>~0,50</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div data-bbox="215 795 478 851"> <p>■ Estado seco ■ Estado condicionado</p> </div> <div data-bbox="271 896 845 1254"> <p data-bbox="271 896 829 918">Porcentaje de resistencia a la tensión diametral retenida</p>  <table border="1"> <caption>Porcentaje de resistencia a la tensión diametral retenida (%)</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de granulometría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gran C</td> <td>~78</td> </tr> <tr> <td>Gran C con cal</td> <td>~85</td> </tr> <tr> <td>Gran D con fibra</td> <td>~83</td> </tr> </tbody> </table> </div>	Tipo de granulometría	Estado seco	Estado condicionado	Gran C	~0,55	~0,45	Gran C con cal	~0,50	~0,40	Gran D con fibra	~0,40	~0,50	Tipo de granulometría	Porcentaje	Gran C	~78	Gran C con cal	~85	Gran D con fibra	~83	<ul style="list-style-type: none"> • Se determinó que las tres diferentes granulometrías (con sus respectivos aditivos) determinan diferencias significativas en la resistencia a la tensión diametral • Al 90% de confianza hay evidencia estadística para afirmar que la granulometría C determina mayores resistencias secas que la granulometría C con cal y la gran D con fibra. • Al 90% de confianza hay evidencia estadística para afirmar que la granulometría D determina mayores resistencias condicionadas que la granulometría C con cal y la gran C.
Tipo de granulometría	Estado seco	Estado condicionado																			
Gran C	~0,55	~0,45																			
Gran C con cal	~0,50	~0,40																			
Gran D con fibra	~0,40	~0,50																			
Tipo de granulometría	Porcentaje																				
Gran C	~78																				
Gran C con cal	~85																				
Gran D con fibra	~83																				

Parámetro	Resultado del análisis estadístico								
<p data-bbox="164 443 375 470">Modulo resiliente</p> <div data-bbox="191 526 1021 985"> <p style="text-align: center;">Módulo resiliente</p> <table border="1" style="display: none;"> <caption>Data for Resilient Modulus Chart</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de granulometría</th> <th>Módulo resiliente (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gran C</td> <td>~1100</td> </tr> <tr> <td>Gran C con cal</td> <td>~1500</td> </tr> <tr> <td>Gran D con fibra</td> <td>~900</td> </tr> </tbody> </table> </div>	Tipo de granulometría	Módulo resiliente (MPa)	Gran C	~1100	Gran C con cal	~1500	Gran D con fibra	~900	<ul style="list-style-type: none"> • Se determinó que las tres diferentes granulometrías (con sus respectivos aditivos) determinan diferencias significativas en el parámetro de módulo resiliente. • Al 90% de confianza hay evidencia estadística para afirmar que la gran C con cal determina mayores módulos que la granulometría C y la granulometría D con fibra
Tipo de granulometría	Módulo resiliente (MPa)								
Gran C	~1100								
Gran C con cal	~1500								
Gran D con fibra	~900								

Parámetro	Resultado del análisis estadístico								
<p data-bbox="172 1243 375 1270">Modulo resiliente</p> <div data-bbox="199 1326 1021 1785"> <p style="text-align: center;">Módulo resiliente</p> <table border="1" style="display: none;"> <caption>Data for Resilient Modulus Chart</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de granulometría</th> <th>Módulo resiliente (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gran C</td> <td>~1100</td> </tr> <tr> <td>Gran C con cal</td> <td>~1500</td> </tr> <tr> <td>Gran D con fibra</td> <td>~900</td> </tr> </tbody> </table> </div>	Tipo de granulometría	Módulo resiliente (MPa)	Gran C	~1100	Gran C con cal	~1500	Gran D con fibra	~900	<ul style="list-style-type: none"> • Se determinó que las tres diferentes granulometrías (con sus respectivos aditivos) determinan diferencias significativas en el parámetro de módulo resiliente • Al 90% de confianza hay evidencia estadística para afirmar que la gran C con cal determina mayores módulos que la granulometría C y la granulometría D con fibra
Tipo de granulometría	Módulo resiliente (MPa)								
Gran C	~1100								
Gran C con cal	~1500								
Gran D con fibra	~900								

3.3.5 CONCLUSIONES DE LA PRIMERA FASE

Según los resultados obtenidos y para las características propias de éste estudio, se puede comentar lo siguiente:

- Las granulometrías A y B presentaron mayores deformaciones que la granulometría C. Conforme se aumentaba el porcentaje de asfalto, el aumento en la deformación se hizo más notorio, sobretodo en la granulometría B.
- La Granulometría C presentó una resistencia al efecto del agua algo mayor a lo que establece la normativa nacional para mezclas convencionales (mayor a 75%).
- No se encontró una diferencia significativa en las propiedades volumétricas obtenidas mediante el diseño Superpave y las obtenidas mediante el diseño Marshall.
- Al utilizar mezclas muy finas, no se logra alcanzar el nivel de vacíos de diseño. Mezclas con porcentajes pasando la malla No.4 mayores a 22.5 no dieron buenos resultados.

3.4 COMPORTAMIENTO DE UN CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO EN UNA CARPETA DRENANTE. (México)

3.4.1 RESUMEN

Se ha empleado un cemento asfáltico modificado para conocer la influencia del mismo en el comportamiento de la mezcla en cuanto a la cohesión y adhesividad. Dicho ligante fue modificado con el 3% de polímero tipo Estireno- Butadieno Estireno o SBS-411, que es la modificación mas generalizada en México. Las características del cemento asfáltico se citan a continuación, tabla I :

TABLA I.

CARACTERISTICAS	UNIDAD	AC-20 CON 3% DE SBS	
		RESULTADOS	NORMA CAPUFE
Penetración a 25°C., 100g y 5 segundos	0,1 mm	42	40-70
Punto de reblandecimiento anillo y bola, después del TFO	°C	68	56 Min.
Relación de penetración	-	52,5	50 Min.
Densidad relativa, 25°C	g/cm ³	1,0331	-
Viscosidad absoluta, 60°C	Poises	8,902	8000 Min.
Viscosidad saybolt-Furol, 135°C	Seg.	319	1000 Max.
Viscosidad Brookfield, 135°C	Cp	1201	3000 Máx.
Recuperación elástica por torsión a 25°C	Grados	83	20 Min.
Separación diferencia anillo y esfera	°C	1,4	2,2 Máx.
Penetración a 4°C, 200 g y 60 segundos	0,1mm,	23	20 - 40

Elegida la granulometría, se estudio la influencia que tiene el tipo de cemento asfáltico en la cohesión, para esto se le practicó, a un juego de probetas Marshall elaboradas

con 50 golpes por cara, el ensayo Cántabro de pérdidas por desgaste, que permite dosificar y caracterizar estos tipos de mezclas drenantes, siempre que el tamaño máximo del agregado pétreo que se emplee no sea superior a 25.0 mm.

Se estudió también la pérdida por desgaste tras inmersión en agua. Las condiciones de inmersión de las probetas pueden variar según las necesidades del estudio (entre ellas el tiempo), lo normal suele ser 1 día a 60° C.

Las pastillas también se ensayaron en la máquina Los Ángeles sin carga abrasiva temperatura comúnmente a 25°C, dejando transcurrir un día desde su extracción del baño y se ensayo a las 300 vueltas. Se siguió el mismo procedimiento de pesado y cálculo.

Los valores obtenidos están representados en la tabla II.

TABLA II

GRANULOMETRIA, % PASA MALLA	TIPO DE CEMENTO ASF.	% ASF/PETREO	PERDIDAS, %	
			SECO	TRAS INMERSION
3/4"	100			
1/2"	86	4,0	27	65,0
3/8"	76	AC - 20		
1/4"	47	CON 3%	15,5	45,0
Nº 4	25	DE POLIMERO		
Nº 8	25	SBS	13,8	36,0
Nº 200	2			

3.4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como puede observarse ambas pérdidas a la abrasión disminuyen al aumentar el % de cemento asfáltico.

Si comparamos los resultados de pérdidas por desgaste en seco y los obtenidos tras inmersión, se ven en este último caso, un aumento de las pérdidas por desgaste. Si confrontamos estos resultados con la especificación belga y la española que indican que las pérdidas no deben sobrepasar el 30% y el 20%, respectivamente, tan solo el 5% y 6% de asfalto en seco cumplen. Lo que si es significativo es que el % de pérdidas tras inmersión, ningún % cumple con ambas normas, lo cual es indicativo que el asfalto polimerizado, por sí solo, no es capaz de conferir la adhesividad pasiva a la mezcla, lo cual es un problema muy serio, habida cuenta del contacto directo del agua por períodos de tiempo largos a que está sometida.

Esto quiere decir que algunos asfaltos modificados con SBS en el mercado nacional, no son suficientes para proporcionar la adherencia que requiere el pétreo en cuestión.

A este respecto, los investigadores argentinos H.D. Bianchetto y R. A. Nosetti, del Laboratorio de Pavimentos e Ingeniería Vial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata, obtuvieron pérdidas tras inmersión en agua en probetas elaboradas con modificadores EVA y SBS, cercanas al 40% (38 y 36%) lo cual viene a apoyar nuestro análisis en el sentido que el asfalto modificado con polímero SBS, en este caso, no es suficiente para otorgar una buena adherencia al pétreo.

Para estas situaciones no hay otra salida que buscar un aditivo que mejore dicha adherencia.

Cabe mencionar que el método de caracterización y dosificación de Cántabro es un procedimiento adecuado para evaluar la adherencia pasiva del asfalto con pétreo y permite evaluar con gran precisión el efecto de los aditivos. A diferencia de la mayoría de los métodos de ensayo que son del tipo subjetivo y que se basan en determinar el grado de desprendimiento que presentan los pétreos tras permanecer un cierto tiempo sumergidos en agua. El método Cántabro determina la pérdida de cohesión de la pastilla hecha con el asfalto y el pétreo, objetos del estudio, además que es un

procedimiento cuantitativo y como se sabe de gran sensibilidad para medir la susceptibilidad de la mezcla a la variación de la temperatura, elemento que es muy importante en las superficies de rodamiento, sobre todo cuando dicha superficie de rodamiento va a trabajar en climas fríos, pues a partir de los 25°C a 10°C se incrementa hasta 3 veces su pérdida por desgaste (zona frágil de la mezcla) respecto a la obtenida a 25°C(11).

Se experimento con un aditivo para mejorar la adherencia, utilizando el BHMT de DUPONT con este activante obtuvimos los siguientes resultados :

GRANULOMETRIA, % PASA MALLA	% PASA MALLA	TIPO DE CEMENTO ASF.	% ASF/PETREO	PERDIDAS, % TRAS INMERSION
3/4"	100	AC-20 CON 1% DE ADITIVO BHMT	4,0	24,8
1/2"	86		5,0	14,6
3/8"	76		6,0	11,2
1/4"	47		4,0	21,8
Nº 4	25	AC-20 CON 3% DE POLIMERO	5,0	14,5
Nº 8	25	SBS Y 1% DE ADITIVO BHMT	6,0	11,3
Nº 200	2			

Si comparamos estos resultados con la especificación belga y la española que limitan el porcentaje de pérdida tanto en seco como tras inmersión a 30% y 20% como máximo solamente el 5.0% y 6.0% de cemento asfáltico satisfacen la especificación española, que es la más rigorista, el 6% (75 golpes) nos manifiesta un % de vacíos (16%) muy cercanos al 15% mínimo (ver figura 3). En razón de esto, es mejor

decidirse por el 5.0% (75 golpes) el cual nos aporta el 18% de vacíos y que nos garantiza el drenaje deseado.

Esto da idea del excelente comportamiento bajo el agua del cemento asfáltico mejorado con el aditivo, característica de enorme interés en este tipo de mezclas diseñadas especialmente para trabajar en presencia de agua y proyectadas para poder drenar el agua a través de sus poros, para favorecer al máximo el agarre llanta-superficie de rodamiento.

3.4.3 CONCLUSION

Mediante la prueba Cántabro tras inmersión en agua, se puso en manifiesto que una mezcla elaborada con asfalto modificado con polímero SBS al 3%, por sí solo, no es capaz de conferir la adhesividad pasiva a la mezcla. En razón de esto hubo necesidad de adicionar un aditivo para mejorar la adherencia del asfalto con el pétreo. Por lo tanto, es muy importante incorporar este tipo de prueba al sistema de diseño y control de obra de las mezclas asfálticas drenantes a fin de asegurar la duración de la capa.

CAPITULO IV
Ensayos y Equipos

CAPITULO IV

Ensayos y Equipos

En éste capítulo se mencionaran los Ensayos que se realizan en una Carpeta Drenante, estos ensayos son necesarios a fin de comprobar que cumplan con las exigencias especificadas, siendo estos ensayos en algunos países un complemento a todos los ensayos que se realizan en una Mezcla convencional.

4.1 ENSAYOS EN LABORATORIO

Los ensayos en Laboratorio necesarios que se realizan en una carpeta drenante son los siguientes :

- Ensayo Cántabro Seco
- Ensayo Cántabro Húmedo
- Ensayos a los áridos
- Escurrimiento a la Mezcla
- Permeabilidad a las probetas

4.1.1 ENSAYO CANTABRO SECO

El Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste en seco, según la norma española NLT-352/86, consiste en introducir a la máquina de ensayo los Ángeles sin carga abrasiva, una probeta Marshall, de tal modo que la cantidad total de áridos sea de 1000 g. La compactación de 50 golpes por cara y a la cual, previamente se le determinó su densidad y porcentaje de vacíos a partir de la medida geométrica de su volumen y densidad relativa de los materiales. Generalmente la temperatura de ensayo estará comprendida entre 15 y 30° C., mantenida así durante un mínimo de 6 hrs.

Posteriormente , se hace girar 300 vueltas el tambor de la maquina a una velocidad de 30 a 33 R.P.M.

Durante el ensayo se van desprendiendo por impacto y abrasión los áridos mas superficiales de la probeta, determinándose tras, las 300 vueltas, la pérdida de peso sufrida, en tanto por ciento del peso inicial.

$$P\% = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Siendo :

P = Valor de la pérdida por desgaste, en %.

P1 = Masa inicial de la probeta, en gramos.

P2 = Masa final de la probeta, en gramos.

4.1.2 ENSAYO CANTABRO HUMEDO

La determinación de la pérdida por desgaste tras inmersión en agua, tiene por objeto determinar la cohesión y trabazón de la mezcla drenante en estado húmedo. Con este método basado en la norma española NLT-362/92, se obtiene un índice numérico del aumento de pérdida de masa que ocurre, como consecuencia de comparar los resultados del ensayo entre series duplicadas de probetas, unas mantenidas al aire y otras sometidas a la acción del agua, y tiene por objeto estudiar la adhesividad que manifiestan los tipos de cementos asfálticos. La elaboración de las probetas es la misma que para las elaboradas en el ensayo de pérdida de desgaste en seco, lo mismo ocurre para su determinación de la densidad y porcentaje de vacíos.

Para su ensayo, las series de probetas fabricadas se dividen aleatoriamente en dos grupos numéricamente iguales, se determina su masa y se anota como P₁. Uno de los dos grupos de probetas se coloca en un recinto u horno regulado a 25° C durante 24 hrs. Otro grupo se sumerge durante 24 hrs. En un baño de agua regulado a la

temperatura de 60° C. Se sacan las probetas del baño y se acondicionan a 25° C durante 24 horas (en horno o recinto con ventilación forzada), se determina su peso como Pc. La diferencia entre Pc y P1 representa el peso del agua retenida después del periodo de secado a 25° C. Esta diferencia se tomara en cuenta en el cálculo del resultado, restándola de P2.

Después de los curados se procede a determinar la perdida por desgaste en la Máquina de los Ángeles a cada una de las probetas de los grupos ensayándolas a 300 vueltas. Al final se determina su peso de cada probeta P2.

Se calcula para cada probeta su perdida por desgaste en % del peso inicial

$$P\% = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Se determina el valor medio de los porcentajes de las perdidas de cada grupo por separado, anotándose como P_A el grupo curado al aire y P_S el sumergido en agua.



Equipamiento para el ensayo Cántabro

4.1.3 ENSAYO DE ESCURRIMIENTO

Se utiliza el método Ingles, consiste en pesar el material escurrido de una mezcla después de 3 horas en estufa a la máxima temperatura esperada en la planta asfáltica (generalmente 160 °C). Para realizar el ensayo la Mezcla Drenante (1.1 kg) se coloca en unos cubos de 10cm de lado, abiertos por la parte superior y en los que la parte inferior es una malla perforada con orificios de diámetro 3.15mm. El material escurrido se recoge en unas bandejas pesadas previamente y situadas bajo la caja. El método se utiliza en el Reino Unido como método de dosificación, repitiendo el ensayo para varios contenidos de betún y representando en un grafico el contenido de betún de fabricación frente al contenido final después del ensayo. Para los contenidos usuales el escurrimiento es nulo y la relación es una línea recta. A partir de un momento se produce el escurrimiento y la relación alcanza un pico, que se considera como el máximo contenido de betún admisible.

4.1.4 ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Para la realización del ensayo de permeabilidad fue montado un aparato de acuerdo con el equipamiento en utilización, conforme ilustrado en la Figura 4. El principio del ensayo consiste en vedar lateralmente el probeta (con parafina o silicone) para que la vazão ocurra solamente en la dirección vertical.

Consiste en medirse al tiempo que lleva para determinada cantidad de agua atravesar el probeta. en este ensayo fue utilizado un tubo de PVC (Poli Cloreto de Vinila) con diámetro interno de 9,83cm y altura de la diferencia entre las cotas referentes a la medida del tiempo, de 25cm. Es dado enfoque a la velocidad media de el infiltrarse de agua a través del probeta. Este valor puede ser obtenido a través de la siguiente expresión:

$$Velocidad = \frac{Altura_{tubo}}{Tiempo_{infiltrarse}} \quad (4)$$

en que

Velocidad: velocidad del agua a través del probeta [cm/s];
 Altura_{tubo}: altura del tubo [cm]; y
 Tiempo_{infiltrarse}: tiempo del agua a través del probeta [s].



Figura 4: Equipamiento para el ensayo de permeabilidad

4.2 ENSAYOS DE CAMPO

Los Ensayos normales a realizarse a un pavimento drenante son los siguientes :

- Permeabilidad
- Medida de la textura superficial
- Macrotextura
- Microtextura
- Medida de la Resistencia al deslizamiento

4.2.1 ENSAYO DE PERMEABILIDAD INSITU

La Permeabilidad se determinará, una vez colocada la mezcla y periódicamente, a fin de realizar un mantenimiento adecuado. Se debe tener en cuenta que al diseñar una mezcla en Laboratorio para un porcentaje de vacíos del orden de 22%, ésta anda en el entorno de los 25 segundos de permeabilidad, este valor es normal encontrarlo de 18 a 20 segundos "in situ" durante la construcción, el efecto de la poscompactación durante los primeros meses de puesta en servicio hará que sin estar la estructura sucia dicho valor esté próximo a los 25 segundos inicialmente proyectados. Pueden obtenerse

variaciones, durante la etapa de construcción, para el mismo valor de permeabilidad (25 seg), entre 17 y 40 segundos, variaciones que se deben a las pequeñas oscilaciones en la dosificación de la planta o en los espesores de la capa final, por esta razón se recomienda durante el proceso constructivo realizar un importante numero de determinaciones, ya que el ensayo de determinación de la permeabilidad es sencillo y rápido, marcando cuidadosamente los lugares donde se realiza el ensayo, para posteriores determinaciones que nos permitan evaluar la colmatación, dado que la superficie de evacuación del permeámetro es reducida.

La permeabilidad evoluciona según la zona donde se la evalúe, sean accesos, carriles rápidos, carriles lentos, etc, por lo tanto las mediciones durante el seguimiento deberán ser hechas en sectores representativos de toda la zona.

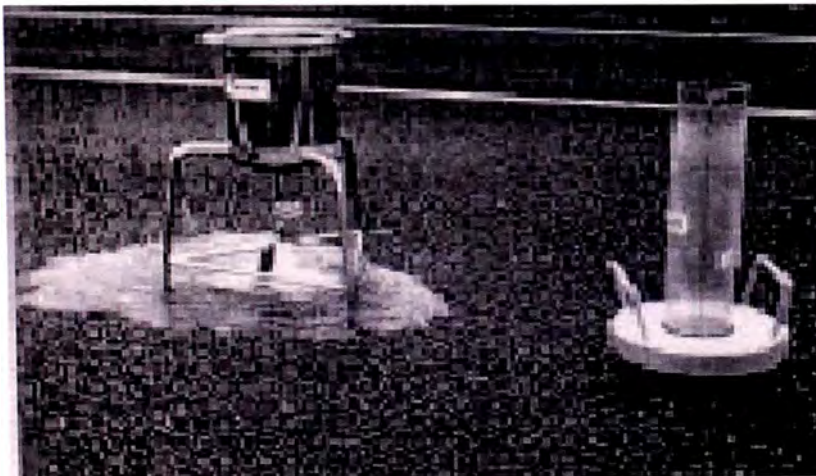


Figura 3: Permeámetro LCS (derecha) y permeámetro Zarauz (izquierda).

4.2.2 LA MICROTEXTURA

La Microtextura o aspereza depende de la textura superficial de los áridos y del mortero bituminoso es muy importante para la adherencia entre neumático y pavimento, por lo tanto, para la resistencia al deslizamiento en todas las circunstancias. Influye en el desgaste de los neumáticos. La medición puntual de esta característica se la realiza con el Péndulo Ingles (TRRL), el mismo que se usa para pulimento acelerado pero con diferente escala y la zapata de caucho roza sobre la superficie.

El ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo normalizado que se deja caer desde la horizontal, provisto en su extremo inferior de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza con una presión determinada sobre la superficie a ensayar y en un recorrido fijo.

Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo. El valor de la lectura adimensional obtenido en el panel de escala de medidas, corresponde directamente al Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) o British Pendulum Number (BPN). Dependiendo de las condiciones de operación de la superficie, el ensayo debe ser realizado sobre la superficie mojada a objeto de representar las condiciones más desfavorables de fricción. También se deben registrar las condiciones de temperatura en el punto de ensayo, para efectuar correcciones al valor de CRD.

la experiencia internacional indica que los valores de CRD podrían estar cercanos a 0.65 para caminos con ciertas restricciones en su geometría como pendientes pronunciadas, curvas cerradas, intersecciones y ramales, y 0.55 para tramos sin mayores restricciones.



Péndulo Británico TRRL

TIPO DE SUPERFICIE	VALOR DE CRD (o BPN)
Palmeta cerámica piso cocina	0.15 - 0.16
Doble tratamiento superficial + 5 años	0.49 - 0.70
Carpeta asfáltica exudada	0.35 - 0.38
Carpeta asfáltica + 5 años	0.40 - 0.65
Losa hormigón + 5 años	0.38 - 0.51
Losa hormigón antes de abrir al tráfico	0.35 - 0.60
Piso industrial hormigón con afinado mecánico	0.27 - 0.70 (*)

■ Fig. 7 Valores referenciales de acuerdo a mediciones del autor, sujetos a condiciones particulares al momento del ensayo.

(*) Variación según tratamiento superficial y calidad de afinado.

Fuente: elaboración propia en base a datos de terreno 2001-2003.

4.2.3 LA MACROTEXTURA

La Macrotextura o rugosidad depende del tamaño máximo del árido elegido y de la composición de la mezcla. Colabora con el drenaje y proyección de agua. Es necesaria para una adecuada resistencia al deslizamiento a velocidad media y elevada (> a 60 Km) con pavimento mojado. Influye además en las propiedades ópticas, se la evalúa con el Parche de Arena (ensayo del círculo de arena). Consiste en extender sobre una superficie un volumen de arena (50 cm³) fina uniforme (monogranular), de forma que cubra todas las irregularidades de la superficie, quedando enrasada la arena con los picos mas salientes. Se procura extender la arena formando un círculo, con el que es fácil determinar el área cubierta por la arena. Dividiendo el volumen de arena por el área cubierta se obtiene una profundidad media de las irregularidades de la superficie (NLT-335-9. En este ensayo se tiene el inconveniente de ser puntual.

$$H = V / \pi X r^2$$

4.2.4 ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

La evaluamos de la siguiente manera :

Resistencia al deslizamiento Longitudinal : Los equipos mas usados para su evaluación son los deslizografos con los que se efectúan medidas puntuales del coeficiente de rozamiento longitudinal. Consiste en un pequeño remolque en el que va la rueda de medida, arrastrada a velocidad constante y parcialmente frenada o bloqueada en el momento de hacer la medida. Suele emplearse un neumático liso con una proyección de agua. Existen además deslizografos de medida en continuo, tales como el SRM(Stuttgarter Reibungsmesser) Se comprobó que existe una etapa critica entre la colocación y el año y medio en que la partícula de ligante sobre los áridos baja la adherencia rueda-pavimento. Tenemos valores de CFL (Coeficiente de Fricción Longitudinal) superiores a 0.4.

Resistencia al deslizamiento transversal : Medidas realizadas con el SCRIM (Sidewey-foce Coefficient Routine Investigation Machine). Se utiliza para la medida en continuo de coeficiente de rozamiento transversal. En este equipo la rueda de medida es lisa e inclinada y lleva un dispositivo para mojar la superficie de contacto. Se obtienen coeficientes de fricción transversal superiores a 0.5 en la vida útil. Aquí se observa también un periodo inicial con valores bajos de resistencia. Sus resultados son principalmente sensibles a la microtextura.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones y Recomendaciones

1. Las mezclas drenantes deben emplearse sobre bases asfálticas completamente impermeables y buenas especificaciones planimétricas, geométricas y de drenaje, para evitar la infiltración del agua hacia las capas inferiores o la acumulación de la misma dentro de la carpeta.
2. Las mezclas bituminosas drenantes proporcionan una mayor seguridad que las tradicionales, al lograr un drenaje rápido del agua de lluvia eliminándola de la superficie de la carretera y generar un mejor contacto rueda-superficie.
3. Para utilizar pavimentos porosos de hormigón como solución para problemas de aguas de lluvias, debemos enfocar nuestros esfuerzos en tres aspectos fundamentales : un correcto dimensionamiento de la estructura para satisfacer requerimientos estructurales e hidráulicos y que incluya un adecuado diseño de la mezcla, un correcto proceso constructivo, un buen plan de mantenimiento que evita la colmatacion y que comience desde el momento de la construcción.
4. Para el dimensionamiento es necesario conocer la capacidad de infiltración del terreno y el periodo de retorno del diseño, para determinar los volúmenes de agua máximos con los que se va a trabajar.
5. Las mezclas drenantes constituyen capas de rodadura más confortables que las tradicionales y de menor impacto ambiental por su baja sonoridad, eliminación total de las salpicaduras que origina el tráfico en las superficies mojadas de otros

tipos de pavimentos, así como de los reflejos de las luces de los vehículos sobre dichas superficies en la conducción nocturna, debido a su textura.

6. El buen funcionamiento de la estructura drenante depende de 3 factores principales:

1. Capacidad portante de la capa inferior adecuada.
2. Condición de impermeabilidad de la capa inferior.
3. Adecuada disposición de los drenajes laterales

7. Es conveniente que los diseñadores, a fin de evaluar y caracterizar materiales para carpetas asfálticas tipo open graded, especifiquen pruebas que persigan la evaluación con base al desempeño y al comportamiento, las cuales tienen la propiedad de simular en el laboratorio las condiciones reales de operación en el sitio de trabajo.

8. Durante la construcción, se debe cuidar que el proceso sea continuo y organizado, características que deben cumplirse al construir cualquier pavimento, pero que en este caso se ven resaltados aun mas por la alta velocidad de fraguado de este tipo de mezclas.

9. Si queremos conservar adecuadamente la permeabilidad de los pavimentos y realizar un seguimiento correcto, debemos diseñarlos con contenido de huecos elevados y limpiar los pavimentos periódicamente con maquinas adecuadas, debiendo iniciarse esta a mas tardar al año de la construcción.

10. Para medir la resistencia a la disgregación de la capa asfáltica drenante por efectos del transito y el agua de lluvia, la prueba por excelencia que ha demostrado a nivel mundial su efectividad es la prueba Cantabro de perdida por desgaste, tanto en estado seco como húmedo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ing. Montejo Fonseca, Alfonso “ Ingeniería de pavimentos para carreteras “
2. Ing. Néstor Huamán Guerrero. “Polímeros para Pavimentos Flexibles para Que y cuando Utilizarlos”
3. Marcela Balige, “Nuevos Materiales Asfálticos para la Construcción “, Argentina.
4. Ing. Pedro Corona Ballesteros, COMSET, S.A. de C.V., “ Ensayo Cantabro de Perdidas por Desgaste : Un método para diseño de carpetas drenantes tipo Open Grade”.
5. Dr. Carlos Fonseca Rodríguez, “ Dosificación de Mezclas Asfálticas abiertas y drenantes empleando el Método de Ensayo de Perdidas por desgaste”
6. ASOCRETO, Concreto Poroso, Tecnología e Investigación para su uso en Pavimentos.
7. Revista Bit, Revista Técnica de Construcción, “ Pavimentos porosos de Hormigón : Una opción para mitigar los efectos de las aguas de Lluvias”, junio del 2002.
8. Ing. Gabriela Muñoz Rojas, Ing. Consuelo Ruiz Rodrigo, “ Metodología de Diseño y Colocación de Mezclas Drenantes”. Laboratorio Nacional de Vialidad, Chile.
9. Congreso europeo de MEZCLAS Drenantes, Marzo 1997, Tomos I, II, III, Madrid, España.
10. Watson D, Andrew Georgia DOT’s Progress in Open Graded Friction Course Development”. Georgia Department of Transportation, 1998.
11. Ruiz A, “ Dosificación de MEZCLAS Drenantes”. Revista Carreteras No 92 , Noviembre- Diciembre 1997. España.
12. Mezclas Drenantes “ Publicación de Elsamex. 1989
13. LANAMME, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Reporte de Investigación Mezclas Drenantes, Febrero 2005- Costa Rica.

REFERENCIAS

- [1] Padilla E. " Estudios de Resistencia al Deslizamiento en Pavimentos Asfálticos en México ", 10º Congreso Ibero latinoamericano del Asfalto, España, 1999.
- [2] Jeuffroy G, Op.Cit. P.94.
- [3] Fonseca R. C., " Estudio Experimental en Laboratorio aplicando el Método UCL en la caracterización de Cementos Asfálticos " 10º Congreso Ibero latinoamericano, España, 1999.
- [4] Manual de Carreteras Volumen 5.
- [5] Meurer F., E, Estudios de Granulometría para Concreto Asfáltico drenante. Dpto. de Ingeniería Civil, Universidad Federal de Santa Catarina, 2001.

Anexos

Anexo N°01

PERMEABILIDAD *IN SITU* DE PAVIMENTOS DRENANTES CON EL PERMEAMETRO LCS NORMAS PERUANAS MTC E 516 - 2000

Este Modo Operativo está basado en la Norma NLT 327/88, el mismo que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Describe el procedimiento a seguirse para la realización de medidas de permeabilidad *in situ* en las mezclas drenantes utilizadas en capas de rodadura y bermas.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 Permeámetro LCS. Representado en la Figura 1 y constituido en esencia por las siguientes partes:

2.1.1 *Una base de apoyo* formada por una placa rígida circular de acero, de 165 mm de diámetro y 10 mm de espesor, con un orificio circular en su centro de 40 mm de diámetro.

2.1.2 Un tubo cilíndrico circular, de unos 40 mm de diámetro exterior, 30 mm de diámetro interior y 45 mm de altura, embutido (ver figura), en el orificio circular de la base de apoyo.

2.1.3 *Un tubo cilíndrico* transparente de 94 mm de diámetro interior y unos 500 mm de altura, unido rigidamente y con cierre estanco a la base de apoyo. El tubo llevará marcadas dos señales de medida, grabadas en toda su periferia y situadas, respectivamente, a 100 y 350 mm del fondo de la base de apoyo.

2.1.4 *Una pesa* de $20 \pm 0,5$ kg de masa, cuyo orificio y base permitan un apoyo estable sobre la placa circular.

2.1.5 *Un anillo circular* estanco de caucho celular de 16 mm de espesor, que se adapte perfectamente a las irregularidades superficiales del pavimento para impedir el escape superficial del agua durante el ensayo. Para ello, su deformación o reducción de espesor 0,5 % a los 30 segundos de carga, bajo la carga de la pesa deberá ser del $8 \pm 0,5$ % a los 5 minutos, alcanzando una deformación final constante del $12 \pm$

2.2 Una reserva de agua de al menos 20 litros por ensayo.

2.3 Un cronometro que tenga una precisión de 0,5 segundos.

3. PROCEDIMIENTO

3.1 Se sitúa el permeámetro en el punto elegido para el ensayo y se coloca la pesa sobre la base.

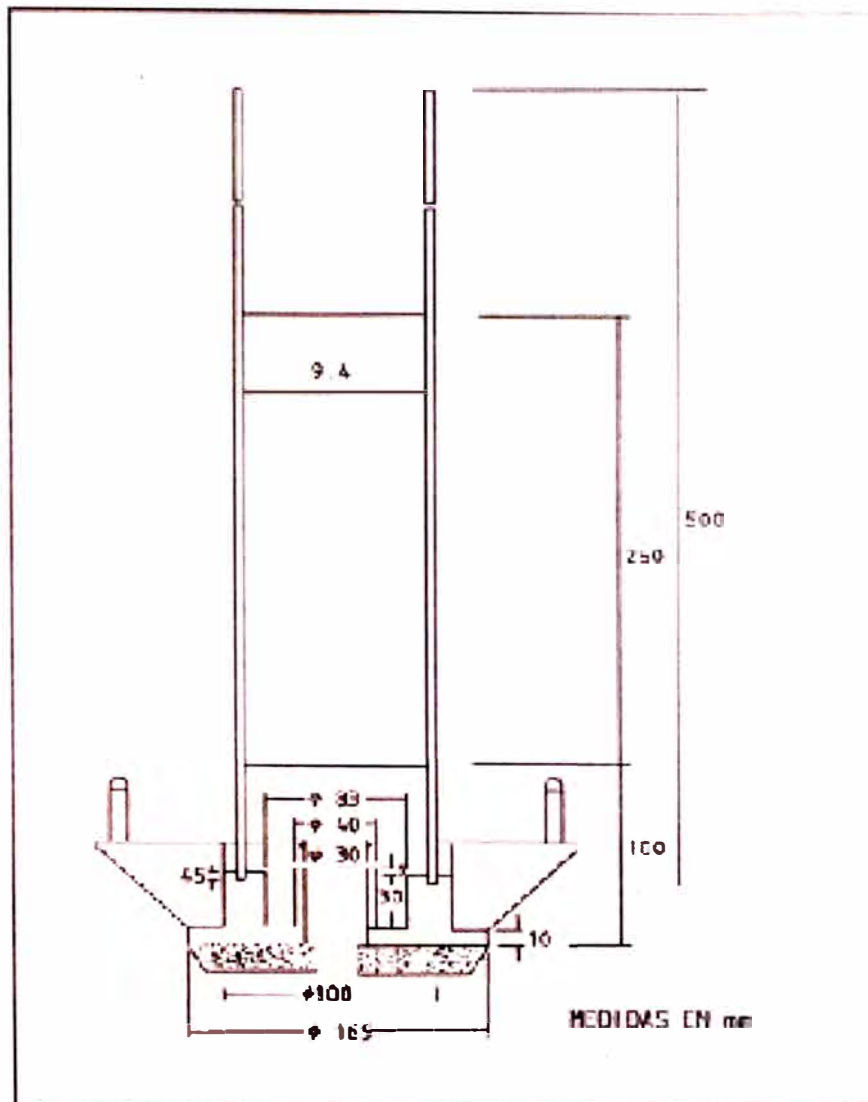


Figura 1. Permeámetro LCB

3.2 A continuación, se llena con agua el tubo transparente del permeámetro hasta unos 15 cm por encima de la marca superior de medida, y se deja que se vacíe a continuación para mojar y saturar el pavimento en la zona de medida.

3.3 Seguidamente, se vuelve a llenar de la misma forma el permeámetro y se anota el tiempo de evacuación, en segundos, que tarda el nivel del agua en descender desde la marca superior de medida hasta la inferior.

4. RESULTADOS

El resultado del ensayo realizado sobre un punto del pavimento será el tiempo en segundos obtenido según el apartado 3.3 Observaciones. En el laboratorio, para mezclas bituminosas drenantes con las siguientes características:

Tamaño máximo, mm	10-12
% pasa tamiz de 2,5 mm (No. 8)	10-15
% pasa tamiz de 75 µm (No. 200)	2-6
% betún sobre agregados	3,5-5,5

y espesores de la capa comprendidos entre 2 y 6 cm, se ha encontrado la siguiente correlación entre el coeficiente de permeabilidad y el tiempo de evacuación:

$$\ln K = 7,624 - 1,348 \ln T$$

siendo:

K = Coeficiente de permeabilidad, en (cm/s). 10^{-2} .

T = Tiempo de evacuación del agua, en segundos.

Obtenida a partir de los valores representados en la Figura 2.

5. REFERENCIAS NORMATIVAS

NLT	327/88
-----	--------

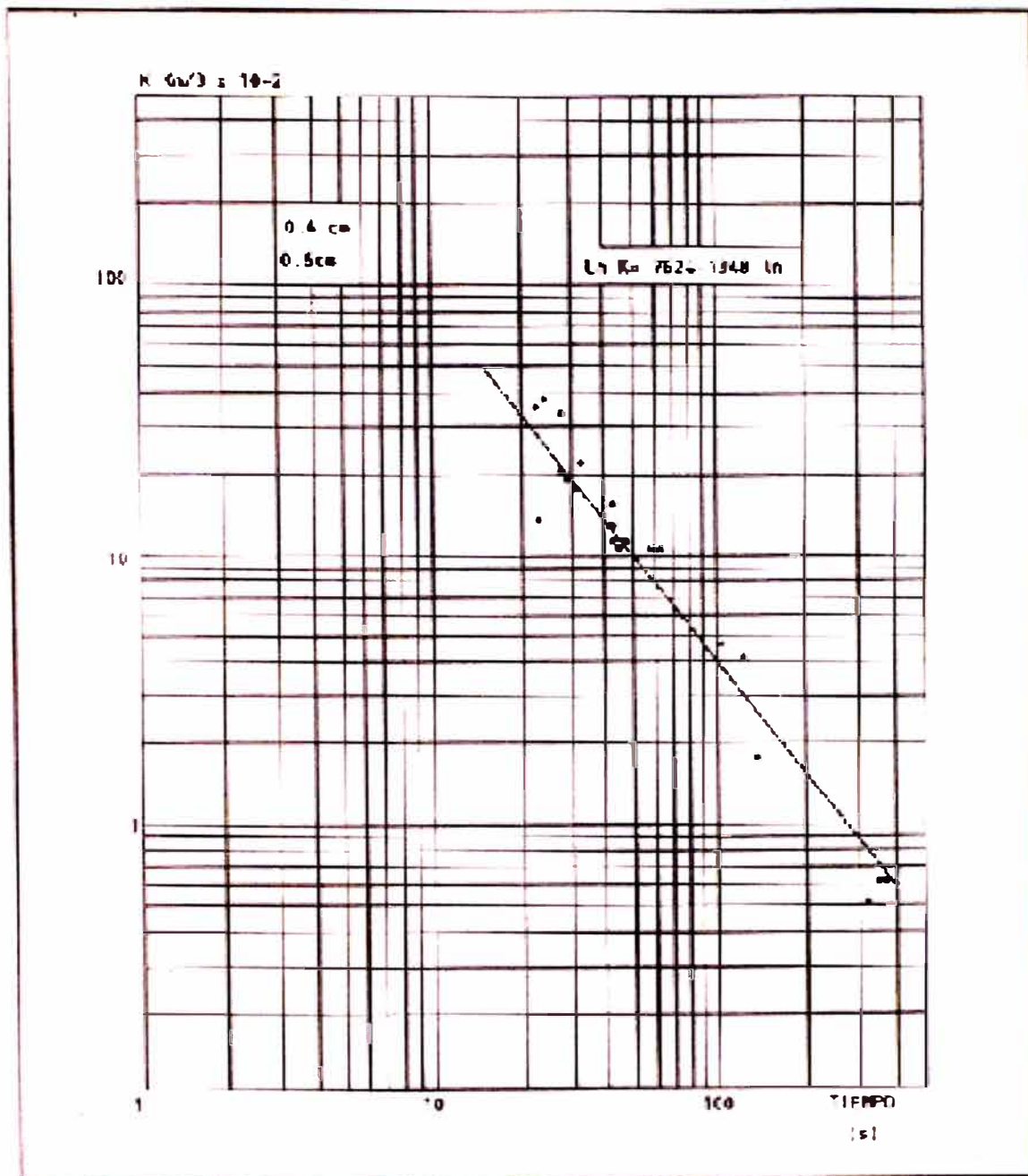


Figura 2. Correlación coeficiente de permeabilidad - tiempo de evacuación

Anexo N°02

DETERMINACIÓN DE LA PERDIDA POR DESGASTE DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL EMPLEO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES, NLT – 325/86.

El ensayo tiene por objetivo determinar las pérdidas por desgaste de mezclas asfálticas abiertas mediante el empleo de la máquina de los Ángeles y, de igual forma valorar indirectamente la cohesión, tracción mecánica del agregado y la resistencia que la mezcla asfáltica tiene a la disgregación por efectos abrasivos y de succión del tránsito.

Este ensayo está pensado para ser aplicado tanto en el proyecto de mezclas asfálticas de graduación abierta en el laboratorio como para el control en obra de la misma, teniendo como limitaciones el tamaño máximo del agregado pétreo, el cual debe ser igual o menor a 25 mm (1 pulgada).

Los sencillos y prácticos de su procedimiento hacen que su aplicación en el ámbito carretero sea posible, ya que el costo del equipo que se emplea en campo y laboratorio no es muy grande y en la actualidad ya se cuenta con él desde hace mucho tiempo. A continuación se lista el equipo necesario para llevar a cabo el ensayo

- Conjunto de compactación y extracción de probetas mediante el procedimiento de Marshall.
- Máquina de ensayo de Los Ángeles
- Equipo menor: balanzas, termómetros, bandejas, cazos, espátulas, etc.

La preparación de las probetas de 101.6mm de diámetro (4 pulgadas), cuatro por cada contenido de cemento asfáltico, se realiza en caliente a una temperatura tal que la viscosidad del cemento permita una fácil y total envoltura del agregado pétreo sin que se produzca escurrimiento del cemento asfáltico. Las probetas se fabrican con un total de 1,000 gramos de material pétreo y se compactan con el procedimiento Marshall a razón de 50 golpes por cara. Mediante este mismo procedimiento se determina la densidad aparente y vacíos en la mezcla asfáltica basado en el procedimiento geométrico.

Conociendo los datos anteriores, se procede a ensayar las probetas en la Máquina de los Ángeles, una por una y sin carga abrasiva o bolas de acero. A cada probeta se le mide su peso inicial P_1 , en gramos, y se somete a un total de 300 revoluciones en el

tambor a razón de 30 a 33 rpm, obteniéndose al finalizar el peso final de la probeta P_2 , en gramos.

El ensayo se debe realizar a una temperatura de $18 \pm 1^\circ\text{C}$ ó $25 \pm 1^\circ\text{C}$, sometiendo las probetas a esta temperatura un mínimo de 6 horas antes de ensayarlas. Como resultado del ensayo se calcula la pérdida por desgaste de cada probeta mediante la expresión :

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde :

P = valor de la pérdida por desgaste.

P_1 = peso inicial de la probeta.

P_2 = peso final de la probeta.

Anexo N^o 03

Péndulo de Fricción Inglés

*Ensayo para evaluar el
Coeficiente Resistencia al Deslizamiento
CRD*

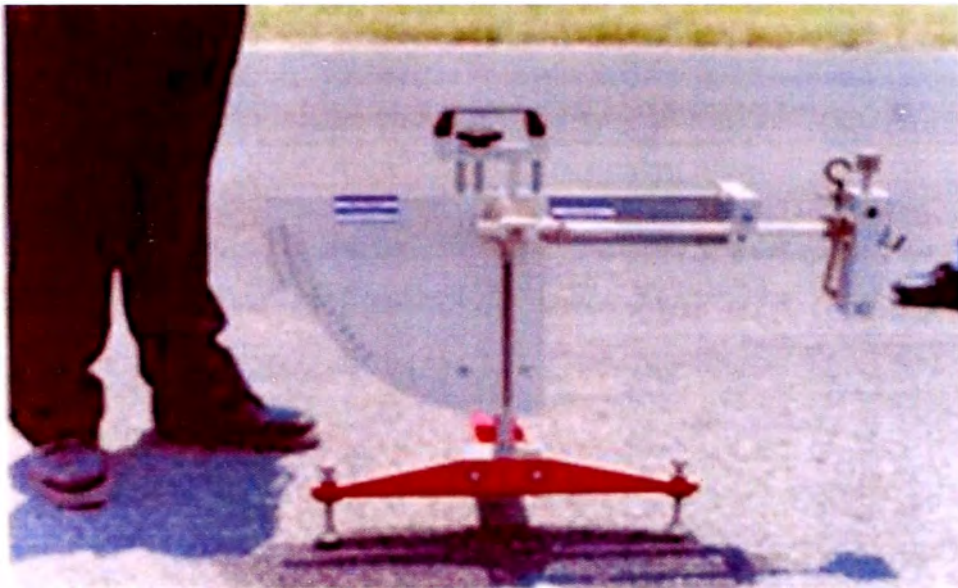


Foto 1. - Péndulo de fricción.



Foto 2. - Ubicación del péndulo paralelo a la dirección que se desea medir el CRD.

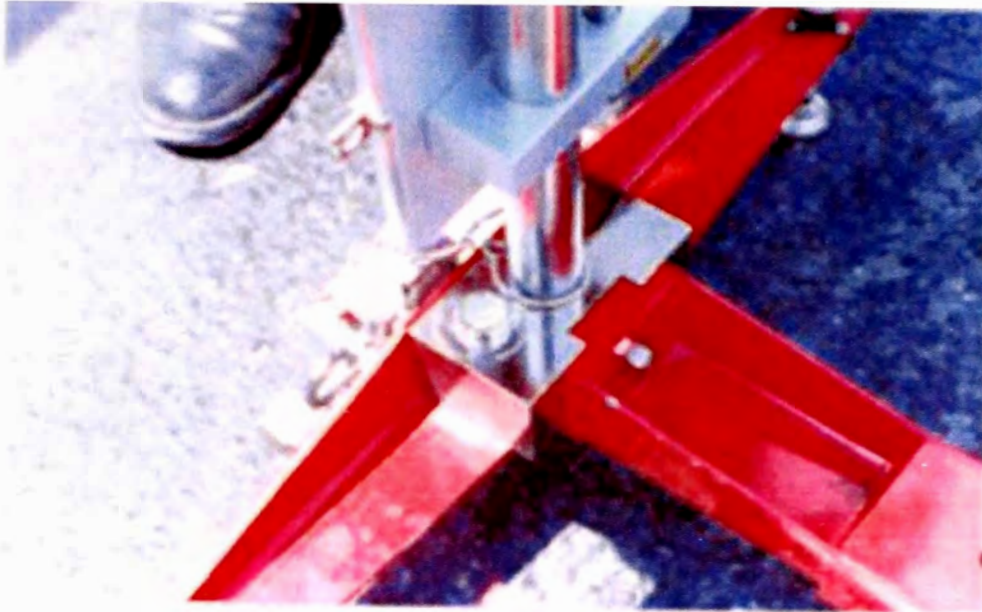


Foto 3. - Base del péndulo debidamente nivelada.



Foto 4. - Péndulo con el brazo oscilante libre para calibración del cero.

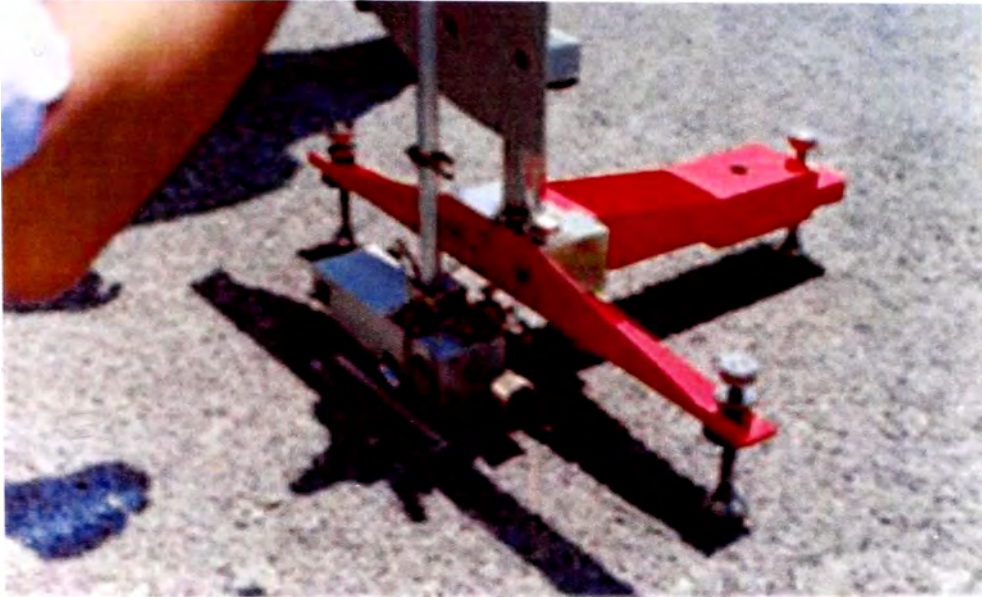


Foto 5. - Escantillón para definir la distancia normada a deslizar la zapata del péndulo.

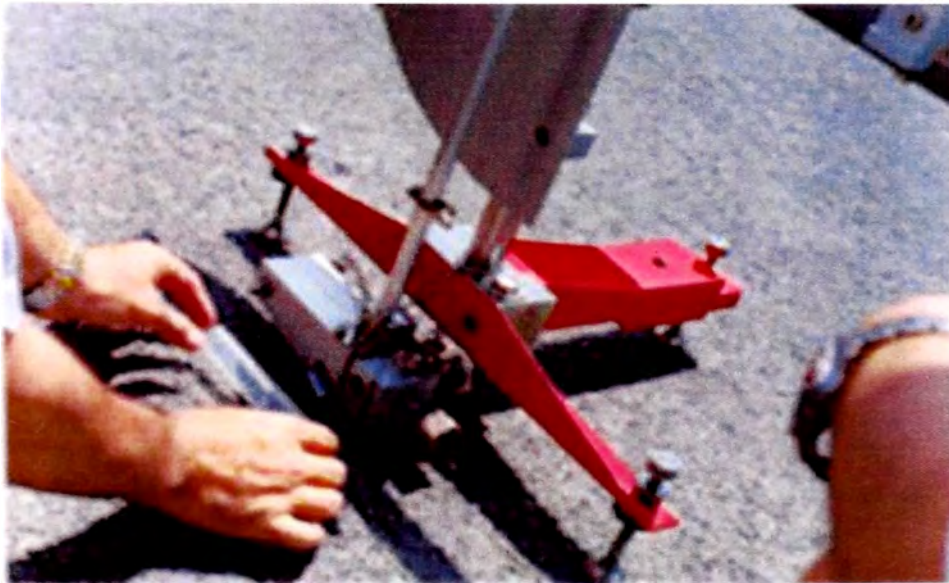


Foto 6. - Escantillón para definir la distancia normada a deslizar la zapata del péndulo.

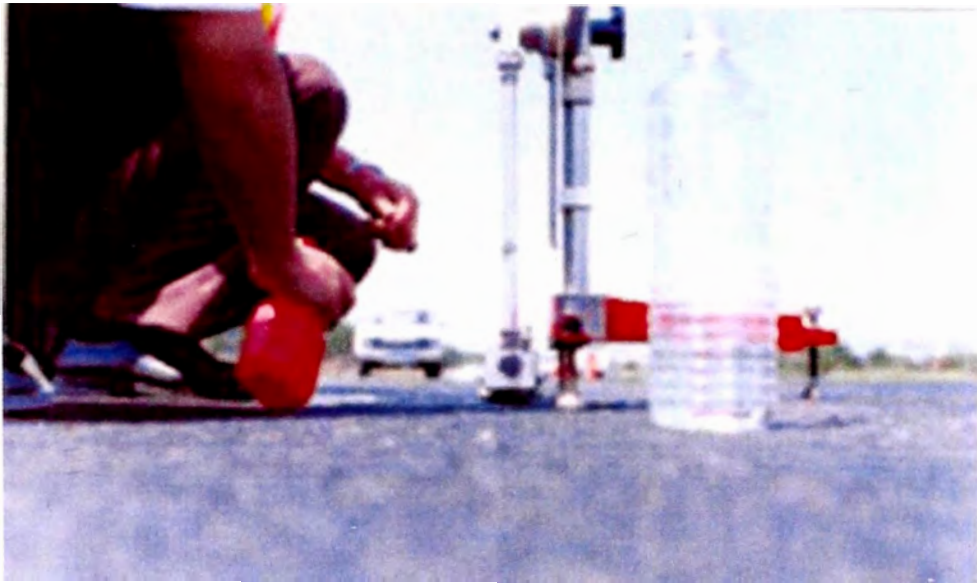


Foto 7.- Aplicación de agua a la superficie a ensayar.

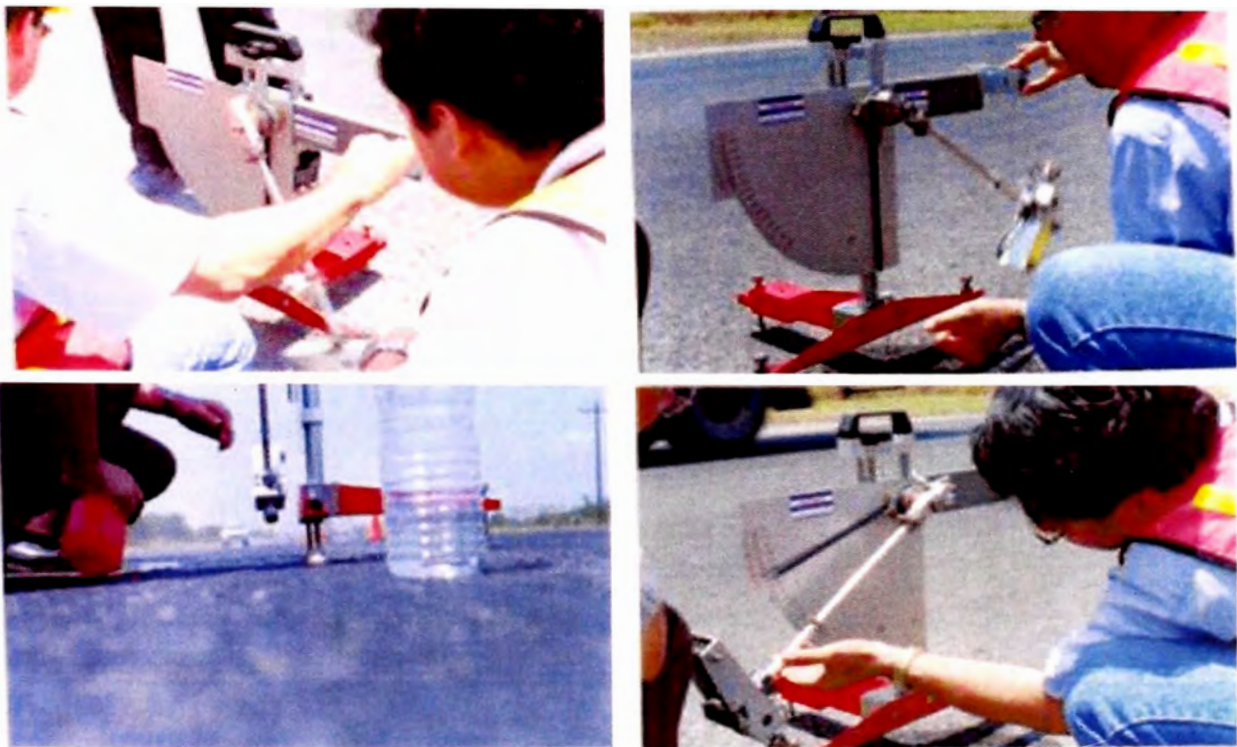


Foto 8.- Secuencia de fotos donde se observa el funcionamiento del péndulo en el proceso de medición del CRD,