

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**DISEÑO DE MEZCLA DRENANTE CON ASFALTO  
MODIFICADO DISPONIBLE EN EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:  
**MARVIN EMMANUEL AYALA LOZA**  
**IVY ENEIDA JUÁREZ ALARCÓN**

PARA OPTAR AL TITULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2010

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ**

SECRETARIO GENERAL :

**LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIO :

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

DIRECTOR:

**MSc. ING. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERÓN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título :

**DISEÑO DE MEZCLA DRENANTE CON ASFALTO  
MODIFICADO DISPONIBLE EN EL SALVADOR**

Presentado por :

**MARVIN EMMANUEL AYALA LOZA**

**IVY ENEIDA JUÁREZ ALARCÓN**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES**

**MsC. ING. RAMÓN FRITZ ALVARADO GLOWER**

**INGRA. ASTRID KAREN CASTILLO DE VADILLO**

San Salvador, Noviembre de 2010

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

**ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES**

**MsC. ING. RAMÓN FRITZ ALVARADO GLOWER**

**INGRA. ASTRID KAREN CASTILLO DE VADILLO**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por habernos dado fuerzas para seguir adelante en los momentos difíciles de los cuales aprendimos muy buenas lecciones.

A nuestros asesores: Ing. Dilber Sánchez, Ing. Fritz Alvarado e Inga. Karen de Vadillo, quienes supieron estar con nosotros en la medida que les fue posible brindándonos consejos, apoyo, tiempo y dedicación para cumplir con los objetivos de la investigación.

A nuestro compañero y amigo Marlon Vigil, por su amistad y apoyo incondicional desde el inicio de este trabajo, por creer en nosotros acompañándonos aun de lejos y darnos ánimos siempre para continuar.

A nuestros compañeros de la escuela de ingeniería civil, que supieron ser nuestros amigos brindándonos sus mejores deseos y apoyo incondicional en este proceso.

A las personas e instituciones que nos apoyaron:

- A Multipav, por brindarnos los materiales esenciales para nuestra investigación (agregados y asfalto) y permitirnos realizar en su laboratorio de control de calidad muchas de las pruebas que fueron necesarias.
- A la escuela de ingeniería civil (UES) por permitirnos el uso del laboratorio para ensayos necesarios de nuestro proyecto
- A Ing. José Miguel Landaverde. (UES), Tec. Carlos Edgardo Morataya (UES), Tec. Camelia Palacios (MultiPav), Sr. Roberto Escobar (MultiPav), Sr. Anibal Zamora (MultiPav), por su ayuda en los procedimientos de laboratorio necesarios para el desarrollo de nuestro proyecto de tesis.
- Leonardo Hernández y Elder Santos, compañeros y amigos que nos ayudaron en el trabajo de laboratorio, por su tiempo y apoyo.

MARVIN AYALA E IVY JUAREZ

## DEDICATORIA

*A Dios por acompañarme en todos los momentos buenos y malos que experimenté en mi paso por la universidad, me dio fuerzas para no rendirme, amor para sentir consuelo y fe para saber que todo saldría bien.*

*A la Virgen María por interceder en cada una de mis preocupaciones y acompañarme siempre en los momentos difíciles.*

*A mi madre, Evangelina Alarcón, esa mujer maravillosa que cree en mí, a la que adoro con todo mi ser, quien siempre me enseñó a confiar en mí misma y creer que todo es posible con un poco de esfuerzo y dedicación. Ella hecho un doble papel más de la mitad de mi vida y hecho grandes sacrificios por este logro que es más suyo que mío.*

*A mi hermana, Karen Juárez, la mejor hermana que puedo tener, por su apoyo a lo largo de este camino porque aun sin comprender muchas veces de que le hablaba me escuchaba y siempre cree en mí, gracias manita.*

*A mis papás, José L. Juárez (Q.E.P.D), físicamente ausente pero en mi alma más que vivo, en mi infancia me enseñó lo importante del estudio y sé que en este camino ha estado conmigo en esas noches de desvelo que necesité apoyo y Guillermo Rivera, porque me dio una familia, un hogar; y sin ser su hija me apoyo y creyó en mí en cada paso de este caminar.*

*A mi compañero de tesis, Marvin Ayala, porque le hizo frente a un tema de un área poco conocido para él, por su dedicación, paciencia, respeto y amistad.*

*A Javier Rosales, porque siempre creyó en mí y me acompañó incondicionalmente en esta etapa de mi vida, gracias amor.*

*A todos aquellos que se quedaron en el camino y tocaron grandemente mi vida en estos años de estudio.*

IVY E. JUAREZ ALARCON

*Dedicada a mi familia y amigos...*

*A mi madre María, a quien dedico especialmente este éxito académico... A todos ustedes.*

*Gracias.*

*"El éxito se alcanza solo cuando se tiene con quien compartirlo"*

**Marvin**

## INDICE

### CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1.	INTRODUCCION .....	2
1.2.	ANTECEDENTES.....	3
1.3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	6
1.4.	OBJETIVOS .....	8
1.4.1.	GENERAL:.....	8
1.4.2.	ESPECIFICOS:.....	8
1.5.	ALCANCES Y LIMITACIONES .....	9
1.6.	JUSTIFICACIONES.....	10

### CAPITULO II: MEZCLAS ASFALTICAS DRENANTES

2.1.	INTRODUCCION .....	13
2.2.	DEFINICION.....	14
2.2.1.	APLICACIONES, VENTAJAS Y LIMITACIONES .....	16
2.3.	ASFALTOS MODIFICADOS.....	21
2.3.1.	OBJETIVOS DE LA MODIFICACIÓN .....	22
2.3.2.	BENEFICIOS QUE SE BUSCAN CON LA MODIFICACIÓN DEL ASFALTO.....	23

2.3.3.	LAS ASOCIACIONES ASFALTO-POLÍMERO ASFALTO.....	24
2.3.3.1.	Asfalto .....	24
2.3.3.2.	Los polímeros .....	25
2.3.4.	COMPATIBILIDAD ASFALTO-POLÍMERO .....	29
2.3.4.1.	Polímeros compatibles .....	31
2.3.5.	CARACTERIZACIÓN DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS .....	34
2.3.5.1.	Ensayos de identificación y composición .....	34
2.3.5.2.	Ensayos de compatibilidad .....	35
2.3.5.3.	Ensayos para determinar la estabilidad al almacenamiento .....	36
2.3.5.4.	Ensayos de comportamiento reológico y susceptibilidad a la temperatura.....	37
2.3.6.	APLICACIONES DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS.....	38
2.3.6.1.	Mezclas Drenantes .....	39
2.4.	MÉTODOS EMPLEADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES.....	39
2.5.	METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE ASFALTOS MEDIANTE EL EMPLEO DEL ENSAYO CANTABRO .....	42
2.5.1.	METODOLOGIA.....	44

2.5.2.	PROPOSITO DE LA METODOLOGIA .....	45
2.5.3.	DESCRIPCION GENERAL.....	45
2.5.4.	ESPECIFICACIONES DE LA METODOLOGÍA .....	46
2.5.5.	EVALUACIÓN Y AJUSTES DE UNA MEZCLA DE DISEÑO .....	47
2.6.	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LA FORMULA DE TRABAJO DE LA MEZCLA DRENANTE.....	48

### **CAPITULO III: AGREGADOS Y ASFALTO**

3.1.	INTRODUCCION .....	53
3.2.	ESPECIFICACIONES PARA AGREGADOS DE MEZCLAS DRENANTES..	54
3.3.	ENSAYOS A LOS AGREGADOS .....	58
3.3.1.	RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO POR IMPACTO Y ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ANGELES .....	59
3.3.2.	ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADOS POR SULFATO DE SODIO.....	62
3.3.3.	DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO.....	64
3.3.4.	PARTÍCULAS PLANAS, PARTICULAS ALARGADAS, Ó PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO.....	66

3.3.5.	DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS.....	68
3.3.6.	FINOS PLÁSTICOS EN AGREGADO GRADUADO Y SUELOS POR EL USO DEL ENSAYO DEL EQUIVALENTE DE ARENA.....	70
3.3.7.	TABLA RESUMEN DE CARACTERISTICAS DE AGREGADOS A UTILIZAR .....	72
3.4.	ESPECIFICACIONES PARA ASFALTO DE MEZCLAS DRENANTES .....	72
3.5.	ENSAYOS DEL ASFALTO .....	75
3.5.1.	DETERMINACION DEL PUNTO DE FLAMA Y LLAMA POR LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND .....	76
3.5.2.	ENSAYO PARA LA PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS. ....	78
3.5.3.	VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE ASFALTOS (Betunes).....	80
3.5.4.	EFFECTO DEL CALOR Y EL AIRE EN MATERIALES ASFÁLTICOS (ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA EN HORNO) .....	82
3.5.5.	TABLA RESUMEN DE CARACTERISTICAS DEL ASFALTO A UTILIZAR .....	84

## **CAPITULO IV: DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA DRENANTE**

4.1.	INTRODUCCION .....	86
4.2.	DOSIFICACION DE AGREGADOS .....	87
4.3.	DISEÑO DE MEZCLA .....	95
4.3.1.	ELABORACION DE BRIQUETAS .....	97
4.3.2.	VACIOS.....	100
4.3.2.1.	Densidad Bulk .....	101
4.3.2.2.	Gravedad Específica Máxima Teórica .....	114
4.3.2.3.	Cálculo de vacíos.....	117
4.3.3.	DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (SECO).....	118
4.3.4.	DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (HUMEDO).....	123
4.3.5.	PERMEABILIDAD.....	125
4.4.	RESUMEN Y ANALISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO .....	126
4.4.1.	DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO .....	128

**CAPITULO V: PROCEDIMIENTO MODELO DE FABRICACION,  
COLOCACION Y SEGUIMIENTO DE UN TRAMO DE PRUEBA**

5.1.	INTRODUCCIÓN .....	141
5.2.	IMPORTANCIA DE UN TRAMO DE PRUEBA .....	142
5.3.	FABRICACIÓN DE LA MEZCLA .....	146
5.4.	COLOCACIÓN EN CAMPO.....	150
5.4.1.	PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EXISTENTE.....	150
5.4.2.	TRANSPORTE Y TRANSFERENCIA DE LA MEZCLA.....	154
5.4.3.	EXTENSIÓN DE LA MEZCLA.....	156
5.4.4.	COMPACTACION DE LA MEZCLA .....	158
5.5.	SEGUIMIENTO .....	161

**CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1.	CONCLUSIONES .....	164
6.2.	RECOMENDACIONES.....	168
	BIBLIOGRAFIA.....	171
	ANEXOS.....	174

## **RESUMEN GENERAL**

En el país, uno de los principales pavimentos utilizados en la construcción de carreteras es el pavimento asfáltico, más concretamente los de mezclas densas, debido a su buen comportamiento ante las sollicitaciones de servicio cuando estas son bien diseñadas, sin embargo existen problemas que presentan las carreteras construidas con este tipo de mezclas, entre las que podemos mencionar el “Hidroplaneo”; que es un problema típico sobre todo en época lluviosa, donde se ve reducida la fricción entre la llanta del vehículo con la superficie del pavimento produciendo una inestabilidad de contacto entre estos contribuyendo así a aumentar las probabilidades de accidentes vehiculares.

Lo anterior ha contribuido a que en el extranjero se desarrollen alternativas en lo que respecta a este problema generado en la superficie del pavimento, dando lugar a la implementación de mezclas asfálticas drenantes las cuales presentan un adecuado comportamiento al tránsito bajo condiciones de diseño adecuadas.

El presente trabajo de investigación denominado **DISEÑO DE MEZCLA DRENANTE CON ASFALTO MODIFICADO DISPONIBLE EN EL SALVADOR**, pretende establecer el diseño de una mezcla asfáltica drenante con materiales que se encuentren a disposición en el país, siguiendo, para su desarrollo, los estudios realizados en el extranjero, debido a que no se cuenta con mayores investigaciones localmente.

El trabajo comprende 6 capítulos, los que en términos generales describen la investigación y el trabajo experimental desarrollado, necesario para establecer la selección de materiales y obtener el diseño de la mezcla al establecer el adecuado proporcionamiento de cada uno de estos, garantizando el cumplimiento de las exigencias requeridas.

En el primer capítulo se establecen las generalidades de la investigación, donde se incluye un poco de la historia acerca del desarrollo que han tenido estas mezclas afuera; en este capítulo se plantea el enfoque de la investigación y la importancia de su desarrollo.

El segundo capítulo comprende el marco teórico sobre mezclas drenantes, donde se abordan las características, ventajas, desventajas, metodologías de diseño, además de que se toca de manera general, sobre los agentes utilizados para la modificación del asfalto, punto importante para justificar su uso en el desarrollo del trabajo.

El tercer capítulo, se presentan los requerimientos exigidos por las especificación utilizada de los materiales para el diseño, específicamente, agregados y asfalto, y posteriormente las características de los materiales utilizados.

El cuarto capítulo corresponde al diseño de la mezcla en laboratorio, utilizando la metodología de diseño seleccionada, y los materiales definidos en el capítulo anterior,

donde se presenta el análisis realizado a los resultados obtenidos de las pruebas para establecer el diseño.

El quinto capítulo aborda los aspectos más relevantes en comparación con las mezclas tradicionales, en lo que respecta a la fabricación y colocación en campo.

Finalmente se presentan las conclusiones resultantes de la investigación, más concretamente, del trabajo de laboratorio llevado a cabo en el diseño y las recomendaciones del trabajo.

# CAPÍTULO I

---

## Generalidades

## **1.1.INTRODUCCION**

Las mezclas drenantes constituyen un tipo particular de pavimento que fue inicialmente concebido para mejorar la circulación con lluvia y evitar el problema de aquaplaning o hidroplaneo.

La presencia de agua sobre el pavimento dificulta el contacto del neumático con la superficie del firme, dando lugar a que se produzcan con mayor facilidad ocasiones para el deslizamiento y el vuelco de los vehículos que circulan a altas velocidades.

Con objeto de mejorar la adherencia neumático-pavimento con lluvia o en presencia de agua, se ha desarrollado este tipo de mezcla que facilita la evacuación del agua a través de ella y el contacto neumático-pavimento.

En este capítulo se exponen las bases de la investigación teórico-experimental acerca de las mezclas drenantes, las cuales serán de interés particular en el país, se exponen los antecedentes con el propósito de conocer el desarrollo que ha tenido este tipo de mezcla a través de los años en otros países, asimismo el planteamiento, objetivos, alcances y limitaciones para definir el enfoque de la investigación a realizar, la justificación que enfatiza la importancia de la realización de dicho estudio.

## **1.2.ANTECEDENTES**

Las mezclas drenantes, fueron inicialmente desarrolladas en los EEUU entre los años 40's, donde se empleaban como capas de pequeño espesor (2.5 cm aprox.) con el objetivo de renovar la textura superficial de pavimentos deslizantes. Este empleo no suponía, sin embargo, un aprovechamiento integral de sus posibilidades y no se tenía en cuenta, al menos de una forma específica, la mejora que para la comodidad y seguridad de conducción supone la capacidad drenante.

En Europa las mezclas asfálticas drenantes fueron desarrolladas en Francia en 1968, donde la experiencia mostró que al cabo de diez años, aún colmatadas (bloqueo por la acumulación de sedimentos), mantenían una buena rugosidad superficial y un aceptable drenaje superficial. A mediados de los años setenta, la utilización de asfaltos modificados con polímeros permitió mejorar sus características reológicas (características elásticas, plásticas y viscosas) y de adherencia aumentando su cohesión y disminuyendo su susceptibilidad térmica. No obstante, debido a la confrontación entre ventajas e inconvenientes, el desarrollo de esta técnica en Francia se bloqueó, hasta 1985 cuando fue nuevamente retomada, pero fue España el primer país en estudiar con profundidad este tipo de mezclas.

Los estudios que se han realizado fueron enfocados al desarrollo de una metodología de diseño y control, en estos, intervinieron tanto la Dirección General de Carreteras como la

Universidad y las Empresas Privadas de España, 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 estudios:

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

Desde esa fecha, en España las mezclas asfálticas drenantes se utilizan en carreteras como capa de rodadura drenante, con espesores de 3 o 4 cm e incluso de 5 cm.

Posteriormente, con el paso de los años, la experiencia y la investigación, el uso de estas mezclas se ha extendido por todo el mundo, adaptándose a todo tipo de condiciones climáticas y técnicas correspondientes a países como Suiza, Japón, Malasia o China no solo en carreteras como capa de rodadura drenante sino también, en estacionamientos vehiculares e incluso en aeropuertos.

En Latinoamérica se observa el notorio uso que se le ha dado a estos estudios en las normativas propias de cada región que contemplan el diseño de mezclas asfálticas drenantes, mediante adaptaciones realizadas a las condiciones y materiales disponibles de cada región, países como Chile y Colombia, por ejemplo, donde se observa en sus

respectivos documentos (Manual de Carreteras Chile, normas INV Colombia) las adaptaciones realizadas de los estudios españoles.

En estos países donde se utiliza este tipo de mezclas, se observa el acelerado nivel de popularidad que estas han tomado, por ejemplo en España desde el año 1986 se iniciaron obras con mezclas asfálticas drenantes no experimentales y a finales de 1990 ya existían 10 millones de m<sup>2</sup>, hoy en día se calcula que existen más de 100 millones de m<sup>2</sup>.

En El Salvador, las construcciones de carreteras con carpetas asfálticas, se han realizado más que todo con mezclas cerradas o densas, mezclas semi-cerradas o semi-densas, los estudios realizados sobre mezclas asfálticas porosas o drenantes en El Salvador son casi nulos, como único proyecto ejecutado con mezcla asfáltica drenante en nuestro país, encontramos:

- La construcción de una carretera interurbana de 21.65km de longitud que conecta la carretera panamericana (CA-1), conocida como carretera de oro desde San Martín en la estación 16+180 hasta San Rafael Cedros en la estación 37+700, en el departamento de Cuscatlán. Sin embargo, la capa de rodadura con mezcla de concreto asfáltico drenante en caliente de 4cm, solo se realizó en los tramos entre 16+180 al 30+700 (lado derecho) y entre 16+180 al 31+500 (lado izquierdo). El

proyecto fue ejecutado 2002-2003 y diseñado por la Phd. Yolanda de Riviera, con especialidad en Ingeniería Civil en el área de pavimentos.

### **1.3.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las carreteras de mezcla asfáltica en El Salvador se diseñan con pendiente transversal para drenar el agua hacia la respectiva cuneta, sin embargo durante lluvias intensas o prolongadas, esta pendiente transversal o bombeo no llega a ser suficiente para drenar el agua hacia los lados produciendo una película de agua sobre el pavimento que al filtrarse en este debilita su estructura.

Cuando un vehículo circula sobre un pavimento en el estado anteriormente mencionado se produce una separación entre el neumático y el pavimento, fenómeno conocido como hidroplaneo o aquaplaning, de igual forma se hace presente la reflexión de la luz que produce el agua sobre la superficie durante la noche, afectando la visión del conductor.

Un buen pavimento es aquel poseedor de un buen diseño y proceso constructivo, durable con el paso del tiempo, etc. Sin embargo el juez final de este producto es el usuario quien lo evalúa de acuerdo con la seguridad que este le brinde, entonces, ¿Cómo se puede mejorar la seguridad que brinda un pavimento?

Esto ha llevado a que se realicen innumerables investigaciones en diferentes países proponiendo como una solución, el uso de mezclas asfálticas drenantes o porosas, las cuales proporcionan un mejor drenaje del agua a través de la capa de rodadura y no por sobre la misma, significa que debe diseñarse la granulometría que se ajuste a lo requerido por las mezclas drenantes de acuerdo a las características propias de los agregados disponibles en nuestro país e investigar el comportamiento de nuestros asfaltos en estas mezclas , ¿Será que introduciendo las mezclas drenantes en nuestro país, se tendrá una solución inicial que mejore le seguridad del usuario?.

## **1.4.OBJETIVOS**

### **1.4.1. GENERAL:**

- Diseñar una mezcla drenante con asfalto modificado utilizando materiales disponibles en El Salvador a fin de ayudar a evacuar de una mejor manera el agua que escurre sobre la superficie del pavimento.

### **1.4.2. ESPECIFICOS:**

- Establecer la granulometría de diseño para una mezcla drenante estudiando la calidad de los agregados conforme a los procedimientos descritos en las normas AASHTO y ASTM.
- Realizar el diseño de la mezcla asfáltica haciendo uso de agregados provenientes de un determinado banco de materiales que proporcionen las características drenantes requeridas.
- Evaluar la conformidad de la mezcla drenante con las especificaciones de diseño utilizando un tamaño máximo de agregado de ¾" y un solo tipo de asfalto modificado disponible en el país (asfalto modificado con polímero SBS)
- Proporcionar información útil para el desarrollo de proyectos con este tipo de mezclas en nuestro país.

## **1.5.ALCANCES Y LIMITACIONES**

Este trabajo tiene por alcance el diseño de la mezcla asfáltica drenante en laboratorio, no contempla los procesos de elaboración en planta, colocación en campo, ni análisis de algún tramo de prueba.

El diseño de la mezcla asfáltica drenante se hará con asfalto modificado con polímero, el cual permite mejorar la adherencia entre el agregado y el material bituminoso, además de proporcionar una resistencia abrasiva del asfalto dentro de la mezcla, ya que estudios realizados en el extranjero indican el necesario uso de los asfaltos modificados en mezclas drenantes.

Existen muchos tipos de asfaltos modificados sin embargo esta investigación se limitará a las muestras que puedan obtenerse en nuestro país, pues este trabajo no tiene por objetivo establecer comparaciones entre los diferentes tipos de polímeros utilizados para la modificación del asfalto, sino que se utilizará un único tipo de asfalto modificado cuyo polímero elastómero es SBS.

Actualmente, en nuestro país no se cuenta con mayores investigaciones en lo que respecta a mezclas drenantes, no existe normativa vigente para el uso de estas, por lo que la información disponible es escasa y para el desarrollo de esta investigación se utilizarán métodos y experiencias del extranjero; se analizarán los agregados y asfalto

salvadoreño con ellos, sus características para lograr un buen diseño de la mezcla drenante, y el comportamiento dentro de la mezcla siendo de vital importancia la granulometría de los agregados y las propiedades del asfalto modificado.

El diseño de mezcla drenante se basara a un solo tipo de granulometría de tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " pulg (19 mm), las probetas de concreto asfáltico serán elaboradas bajo el método Marshall.

Para establecer la satisfacción del diseño de la mezcla asfáltica serán verificadas las características más importantes de estas: pérdida por desgaste, porcentaje de vacios y permeabilidad a través de ensayos de laboratorio.

## **1.6.JUSTIFICACIONES**

Esta investigación pretende principalmente dar un aporte, que permita el interés en la realización de más investigaciones en cuanto a mezclas drenantes, ya que su utilización ha demostrado en experiencias del extranjero un importante número de ventajas sobre las mezclas densas, sin embargo dado los problemas habituales en los pavimentos de nuestro país sobre todo en época de lluvia, como inundaciones, accidentes, causados por el agua acumulada en la superficie del pavimento, vale la pena comenzar a establecer un diseño de esta mezcla utilizando materiales (agregados y asfalto) propios de nuestro país

para verificar las bondades que estas mezclas pueden aportar al mejoramiento de nuestros pavimentos, y si bien es cierto que en esta investigación únicamente se llevara a cabo el diseño de la mezcla drenante, representa un inicio importante en la introducción de estas en nuestro país.

En otros países como Chile, Colombia, Argentina, España, EE.UU etc. estas mezclas han demostrado que el porcentaje elevado de vacíos que estas permiten (20%-25%) ayudan en la evacuación del agua de la superficie del pavimento mejorando la visión del conductor en épocas de lluvia así como su elevada macrotextura favorece la adherencia neumático-pavimento permitiendo de esta forma una conducción más segura.

Estas mezclas representan una opción nueva de capa de rodadura para pavimentos, estudiarlas y aprender de su comportamiento desde el momento de la selección de su granulometría para establecer el diseño de la mezcla es necesario, la información que ello brinde facilitará la investigación a las empresas o instituciones cuyas actividades involucren las mezclas asfálticas ya sea en construcción, diseño o simplemente gestión, y que se encuentren comprometidas con la seguridad de los usuarios.

## **CAPÍTULO II**

---

### Mezclas asfálticas drenantes

## **2.1.INTRODUCCION**

En los pavimentos asfálticos diseñados a partir de mezclas cerradas, como se ha venido mencionando, se presentan inconvenientes para los usuarios durante el periodo de lluvias, debido a una serie de circunstancias producto de la acumulación de agua en la superficie de rodadura, las cuales, en muchos países, especialmente en el caso de aquellos con clima tropical, favorecen a la generación de accidentes vehiculares, es por eso que en muchos de estos países, se han desarrollado soluciones para contrarrestar estos problemas, una de ellas ha sido el uso de mezclas asfálticas drenantes, las cuales han sido diseñadas precisamente para el drenaje del agua que se acumula en la superficie a través de la misma.

En este capítulo se abordan las generalidades de este tipo de mezcla, las ventajas y limitantes de su uso, y diversas metodologías que son empleadas en el diseño.

También, algunas generalidades sobre los asfaltos modificados, los cuales, como se verá en el desarrollo de este capítulo, son indispensables en la fabricación de las mezclas drenantes, debido a los beneficios que este tipo de asfaltos aporta a la estructura de estas mezclas, por lo que se ha considerado necesario hablar sobre los diversos tipos de agentes empleados para la modificación, y la caracterización de estos asfaltos.

## 2.2.DEFINICION

Las mezclas asfálticas drenantes pueden definirse como aquellas cuyo contenido de vacíos es suficiente para permitir que en ella filtre el agua de lluvia con rapidez, y pueda ser evacuada hacia los hombros, cunetas u otros elementos de drenaje, evitando su permanencia en la superficie de la capa de rodadura, incluso bajo precipitaciones intensas y prologadas.

Existen pequeñas diferencias en cuanto al contenido de vacíos aceptado para considerar una mezcla drenante en los países donde se ha estudiado este tipo de mezclas, en la siguiente tabla se muestran los contenidos de vacíos aceptado por algunos de ellos:

PAIS	PORCENTAJE DE VACIOS (%)	
	Mayor del	Menor del
España	16	25
Chile	18	25
Colombia	20	25

Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Montejo Fonseca (2002)

**TABLA 2.1. Contenido de vacíos aceptado por algunos países.**

No se observa un limite inicial definido, realmente este puede parecer arbitrario, con valores inferiores aun al 16% de vacíos en la mezcla, esta puede tener una capacidad drenante apreciable, sin embargo, para que esta capacidad se mantenga durante un periodo de tiempo razonable, es necesario fijar un limite mínimo de partida. Este límite

cambia según distintos criterios pero ello no supone que las distintas normativas se conformen con este porcentaje, lo aconsejable es partir de una porosidad mayor.

Este elevado porcentaje de huecos, se logra mediante el uso de una granulometría especial: un alto porcentaje de agregados gruesos (alrededor del 85%), poco fino y aporte de filler (Ruiz y Muñoz Rojas, 2000). Las mezclas drenantes pueden construirse tanto en caliente como en frío, empleando como ligantes los asfaltos modificados. El uso de las mezclas drenantes o porosas, cambia radicalmente el concepto tradicional de una carpeta de “rodadura 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 (figura 2.1)



Fuente: Presentación por Arkansas Asphalt Pavement Association, 2006

**FIGURA 2.1. Esquema del funcionamiento de una capa drenante.**

### **2.2.1. APLICACIONES, VENTAJAS Y LIMITACIONES**

Como es bien sabido, la presencia del 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, el objetivo que se busca con este tipo de mezclas es mejorar las condiciones de circulación de vehículos en situaciones de lluvia

Entre las ventajas, y limitaciones de este tipo de mezclas se tienen:

#### **VENTAJAS**

##### **a) 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 que rompe el contacto entre ambos, el neumático “flota en el agua” de modo que el conductor pierde el control de su vehículo, la evacuación rápida del agua de la superficie del camino a través de la mezcla drenante impide que se produzca este fenómeno



Fuente: [www.circulaseguro.com/](http://www.circulaseguro.com/)

**FIGURA 2.2 Hidroplaneo.**

**b) Resistencia al deslizamiento con pavimento mojado.**

Aun 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 la 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 distancias de frenado).



**FIGURA 2.3 Macrotextura de pavimento**

**c) Reducción de las proyecciones de agua**

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



Fuente: Presentación por Arkansas Asphalt Pavement Association, 2006

**FIGURA 2.4 Fenómeno “Splash” producido en superficies no drenantes**

**d) 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.

**e) Reducción del ruido al paso de 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 permiten el paso de aire, atenuando los efectos sonoros. Tanto el conductor, como el entorno, se ven favorecidos por esta reducción.

## **LIMITACIONES**

**a) Mayor costo inicial.**

Las mezclas deben de construirse con asfaltos modificados y agregados con características granulométricas propias que permitan obtener la capacidad drenante buscada en la mezcla, lo que encarecen los costos.

**b) Posible disminución de la vida útil.**

Al haber más huecos, las partículas se encuentran mayormente expuestas (en comparación con las mezclas densas) a la intemperización, lo que puede envejecer más rápidamente el asfalto provocando una pérdida en las propiedades adhesivas de este, y por ende entre las partículas de la mezcla, sin embargo, utilizando asfaltos especiales (asfaltos modificados) el problema se minimiza en su mayor parte.

**c) Pérdida de porosidad en el tiempo.**

Los huecos se van colmatando con el paso del tiempo por la acumulación de polvo y otros agentes contaminantes como arena, materia orgánica etc., lo que hace que el mantenimiento de las propiedades drenantes del pavimento exija una adecuada conservación del mismo mediante la inspección periódica varias veces durante los primeros meses después de su construcción, y posteriormente como mínimo una vez al año ya que de esto depende la vida útil del mismo, que con un correcto mantenimiento, según autores como Shackel, puede llegar a los 20 años.

**d) Posibilidad de escurrimiento del ligante durante el transporte.**

Aunque utilizando asfaltos modificados, este problema se reduce de manera significativa.

**e) Necesidad de un soporte adecuado, con geometría bien acabada e impermeable.**

**f) Menor resistencia a aceites y combustibles.**

**g) Drenaje lateral**

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

### 2.3.ASFALTOS MODIFICADOS

Generalmente, las características de los ligantes asfálticos son suficientes para fabricar mezclas asfálticas resistentes a la acción conjunta del tráfico y de los agentes ambientales; sin embargo, en algunas ocasiones, las mezclas asfálticas están sometidas a tan fuertes sollicitaciones, que requieren el uso de asfaltos con propiedades mecánicas y reológicas mejores que la de los asfaltos convencionales.

La modificación del asfalto con la incorporación de polímeros da por resultado una mejoría considerable en las características de elasticidad, adherencia y cohesión de estos a un costo competitivo.



Fuente: Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado, Bogotá 2009

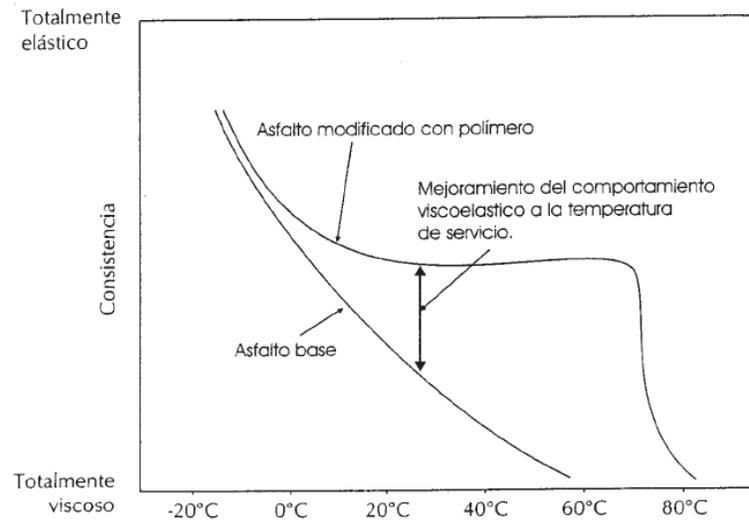
**FIGURA 2.5 Equipo empleado en la modificación de asfaltos en laboratorio.**

### **2.3.1. OBJETIVOS DE LA MODIFICACIÓN**

Los modificadores le permiten al diseñador intervenir sobre las características mecánicas del asfalto. Entre otras se puede mencionar la reducción de la susceptibilidad térmica, en la búsqueda de características reológicas constantes, especialmente a elevadas temperaturas de servicio. En consecuencia ello implica modificar las propiedades de las mezclas, en el sentido de disminuir tanto la deformación plástica a alta temperatura, como la rigidez a baja temperatura, ofreciendo un mejor comportamiento en servicio ante la acción de las cargas circulantes pesadas del tránsito, independientemente de las condiciones climáticas imperantes.

Un asfalto real, común, presenta un cambio continuo de sus características en todo el rango de temperaturas de operación. El asfalto ideal es aquel que muestra una característica más o menos constante en un amplio rango de temperaturas de servicio, convirtiéndose en un fluido viscoso a las temperaturas de la mezcla y compactación.

La adición de un polímero adecuado modifica la susceptibilidad térmica del asfalto, tal como se observa en la figura 2.6, obteniéndose debido a una mejora en el comportamiento visco-elástico a las temperaturas de servicio a las deseadas en un asfalto ideal.



Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Montejo Fonseca (2002)

**FIGURA 2.6 Efecto de la incorporación de un polímero sobre la susceptibilidad térmica del asfalto.**

### 2.3.2. BENEFICIOS QUE SE BUSCAN CON LA MODIFICACIÓN DEL ASFALTO

Los principales beneficios que se persiguen con la modificación del asfalto:

- Aumentar la rigidez a altas temperaturas de servicio mejorando la resistencia de las mezclas a la deformación permanente.
- Reducir la rigidez a bajas temperaturas, previniendo la fisuración térmica.
- Aumenta la resistencia a fatiga de las mezclas.
- Mejorar la adhesión con los agregados pétreos.
- Mejorar la cohesión, brindando mejor retención de los agregados en la vida inicial de los tratamientos superficiales.

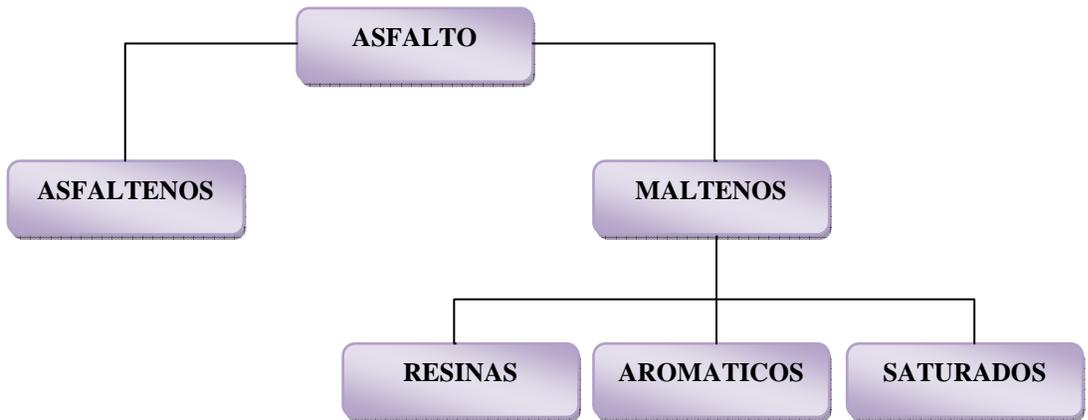
- Reducir el endurecimiento en servicio, brindando una vida superior a la mezcla, debido a la retención de sus ventajas iniciales.
- Disminuir la susceptibilidad térmica en el rango de temperatura de servicio.
- Aumentar la viscosidad de bajas velocidades de corte, permitiendo mejores espesores de película en el agregado de las mezclas abiertas y reduciendo la exudación en tratamientos superficiales.

Aunque existe una variedad de aditivos que pueden ser exitosos en la mejora de cuando menos una de las propiedades del asfalto, pero, es necesario tener en cuenta que no existe un aditivo que mejore todas las propiedades antes descritas.

### **2.3.3. LAS ASOCIACIONES ASFALTO-POLÍMERO ASFALTO**

#### **2.3.3.1. Asfalto**

No se ahondara, en el tema ya que ha sido bastante estudiado en otros trabajos, sin embargo observando la composición del mismo (figura 2.7) cabe destacar, que es el contenido de aromáticos el que influye en la facilidad que tiene un asfalto para “admitir” polímeros modificadores en tal caso es el porcentaje de aromáticos en esta, la que define la capacidad de solubilidad del asfalto.

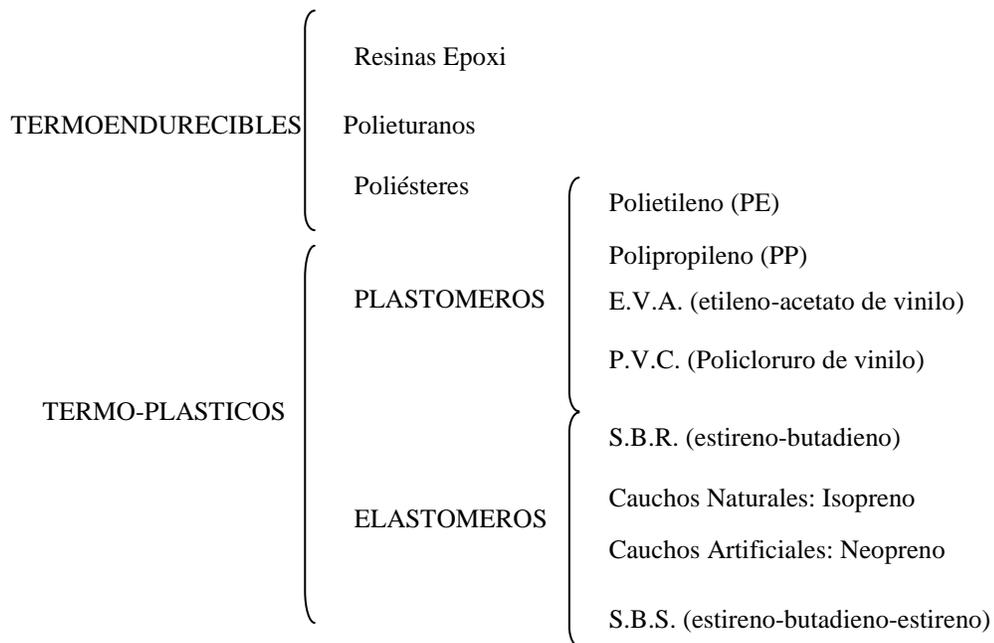


Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Montejo Fonseca (2002)

**FIGURA 2.7 Composición del asfalto.**

### **2.3.3.2. Los polímeros**

Son sustancias formadas por la unión, de cientos o miles de moléculas pequeñas, llamadas monómeros. La gran diversidad de materiales poliméricos hace que su clasificación y sistematización sea difícil; sin embargo a continuación se presenta la siguiente:



Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Montejo Fonseca (2002)

**FIGURA 2.8 Clasificación de polímeros.**

**Los termoendurecibles:** son polímeros formados por reacción química de dos componentes (base y endurecedor), dando lugar a una estructura entrecruzada, por lo que no pueden ser recuperados para volver a transformarse. Los termoendurecibles más comunes son:

- *Resinas Epoxi:* tienen agentes endurecedores de los enlaces transversales. Se usan en grandes porcentajes, mayores de 20%. Muy costosas, se usan en zonas especiales.
- *Poliuretano:* similares a las Resinas Epoxi, muy caros, se usan a bajas temperaturas y en capas delgadas.
- *Poliésteres:* son menos usados.

**Los termoplásticos:** son polímeros solubles que se reblandecen por acción del calor y pueden llegar a fluir. Son, generalmente, polímeros lineales o ligeramente ramificados.

Los termoplásticos se dividen en dos grupos:

a) **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, los plastómeros más comunes son:

- *Polietileno:* tienen buena resistencia a la tracción y buena resistencia térmica, como también buen comportamiento a bajas temperaturas.
- *Polipropileno atáctico (EPDM):* se lo mezcla con elastómeros para hacerlo más flexible; muy flexible y resistente al calor y a los agentes químicos.
- *E.V.A (Etileno-Acetato de Vinilo):* los copolímeros de Etileno copolímerizan al Etileno con otros monómeros (Acetato de Vinilo) para destruir la regularidad estructural y reducir su grado de cristalinidad.

Sus propiedades dependen del:

- **Peso molecular:** si aumenta – menor flexibilidad y mayor dificultad para mezclarlo.
- **% Acetato de Vinilo (33 al 40%)-** si aumenta es más flexible. Hay que recircularlo en almacenamiento para evitar la separación, se mezcla a 160 °C sin aditivos, tiene buena compatibilidad con el asfalto.

- P.V.C. (Policloruro de Vinilo): tiene muy baja actividad química, pero al mezclarlo con el asfalto a 130 °C se gelifica, obteniéndose un ligante más viscoso que el original, muy resistente a los solventes; es usado en estaciones de servicio y aeropuertos; Se usa de un 2 al 6%; tiene bajo precio comparativamente.

**b) Elastómeros o cauchos:** son polímeros lineales amorfos, generalmente insaturados, que son sometidos al proceso de vulcanización adquieren una estructura parcialmente reticulada, que le confiere sus propiedades elásticas, los cauchos de uso más generalizado son:

- *S.B.R.:* cauchos sintéticos del 25% de Estireno y 75% de Butadieno., para mejorar su adhesividad se le incorpora ácido acrílico.
- *Isopreno:* caucho natural, se le usa para hacer caucho sintético.
- *Neopreno:* caucho sintético con gran resistividad a los agentes atmosféricos, se usa en carreteras para apoyo de vigas y estructuras.
- *S.B.S (Estireno – Butadieno - Estireno) o Caucho Termoplástico:* desarrollado en Estados Unidos en la década de los 60's en adhesivos y suelos, llega luego al asfalto; los dos homopolímeros que lo forman son incompatibles entre sí.
- *El mas incompatible El Estireno:* (fase dura) con temperatura de cristalización 100 °C.

- *Butadieno (fase elástica)*: con temperatura de cristalización menor que la ambiente.

La incorporación de un polímero (sustancia macromolecular con propiedades visco elástica) a un asfalto dará lugar a interacciones entre moléculas del primero y los componentes del segundo y producirá alteraciones en el sistema coloidal del asfalto, con el consiguiente cambio de propiedades.

Las interacciones y cambio de propiedades producidas, dependerán de los siguientes factores:

- Composición y estructura molecular del polímero incorporado (peso molecular, composición química, temperatura de transición vítrea, polaridad, etc.).
- Composición química y estructura coloidal del asfalto.
- Proporción relativa de asfalto polímero.
- Proceso de incorporación (modo de fabricación, temperatura, tiempo de mezclado, etc.).

#### **2.3.4. COMPATIBILIDAD ASFALTO-POLÍMERO**

Según Thompson: “cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptica para mejorar las propiedades reológicas”.

Toda acción cuyo efecto sea la modificación de la composición química del asfalto conduce, inevitablemente, a la modificación de su estructura y de sus propiedades.

Si se mezclan en caliente, sin precauciones especiales, un asfalto y un polímero, se obtiene alguno de los tres resultados siguientes:

1. *Mezclas heterogénea*: es el caso más probable y ocurre cuando el asfalto y el polímero son incompatibles
2. *Mezcla totalmente homogénea*: incluso a nivel molecular, es el caso, poco frecuente, de la compatibilidad perfecta; en este caso, el ligante es extremadamente estable, pero la modificación de sus propiedades de uso es muy débil respecto a las del asfalto original, solo se aumenta su viscosidad, no es, pues el resultado deseado.
3. *Mezcla micro-heterogénea y constituida por dos fases finalmente imbricas*: es el caso de la compatibilidad deseada, que permite realmente modificar el ligante, es un sistema de características, el polímero compatible “se hincha” absorbiendo una parte de las fracciones aceitosas ligeras del asfalto, para formar una fase polimérica de la fase asfáltica residual constituida por las fracciones pesadas del ligante-aceites restantes y asfáltenos.

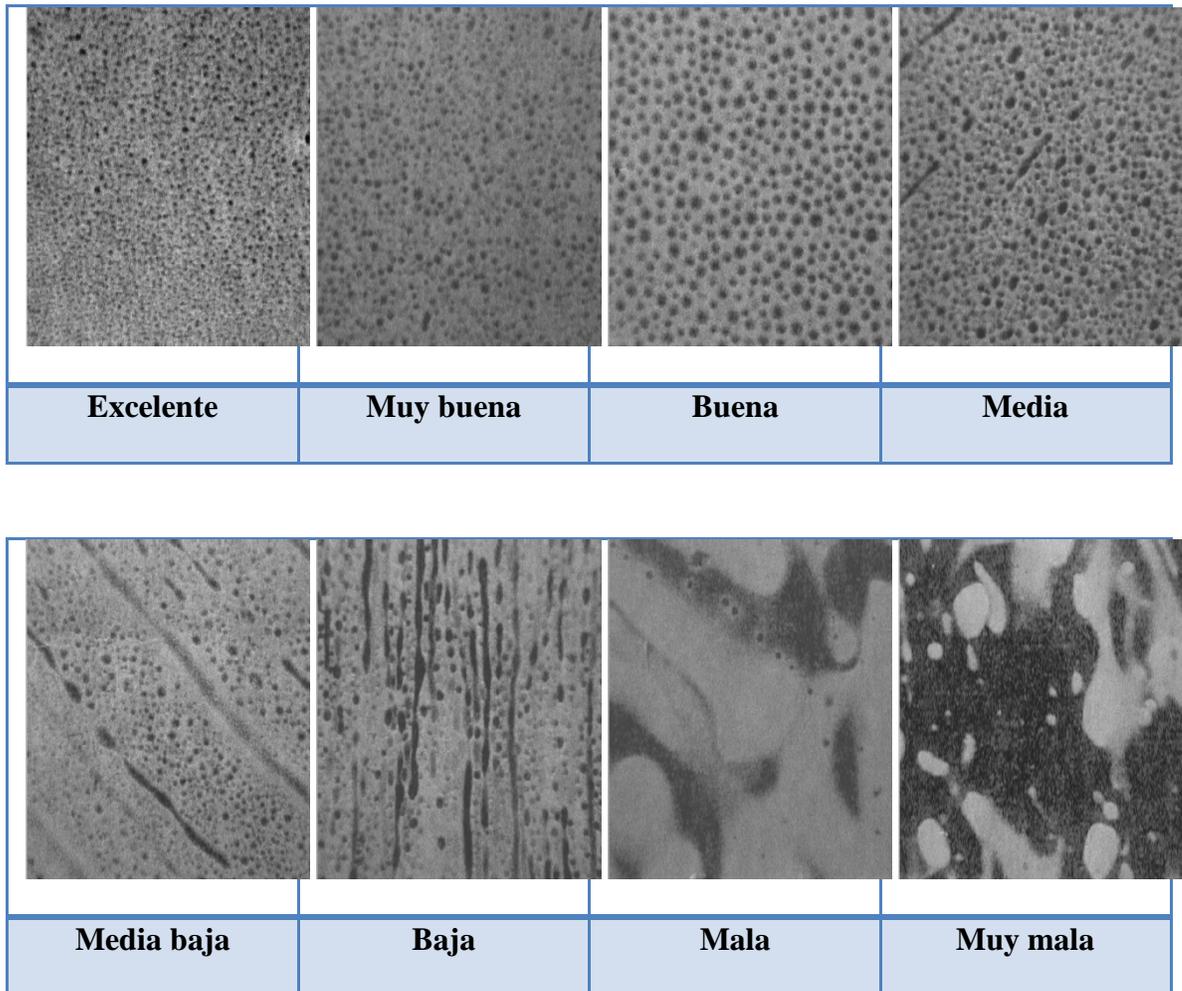
#### 2.3.4.1. Polímeros compatibles

Los polímeros idóneos para mejorar la propiedad de los asfaltos para uso vial son aquellos que cumplen las siguientes características:

- Cadena general suficientemente larga.
- Baja polaridad, para facilitar su compatibilidad con el asfalto.
- Peso molecular elevado pero no excesivamente alto, para disminuir riesgos por excesiva viscosidad y problemas de dispersión.
- Baja temperatura vítrea, para permitir mejorar los problemas de deformación a bajas temperaturas.

En acuerdo con lo anterior, son dos familias de polímeros, las más utilizadas:

- *Plastómeros, basados normalmente en copolímeros de etileno, generalmente EVA, cuyos grados difieren en función de la cuantía de acetato de vinilo y peso molecular.*
- *Elastómeros, generalmente consistentes en copolímeros del tipo SBS, que se distinguen por su contenido de estireno y su configuración, lineal o radial.*



**FIGURA 2.9** Resultados obtenidos por microscopia electrónica, para determinación de compatibilidad de los polímeros en la mezcla. (Aumento: 200x)

En las estructuras radiales, la presencia de bloque estirénicos suplementario origina una red elástica que le confiere al ligante una baja susceptibilidad térmica y buenas características mecánicas, por su lado, el SBS lineal proporciona las mismas propiedades y mayor flexibilidad a bajas temperaturas, siendo los más utilizados.

La tabla 2.2 muestra un panorama general de las mejoras obtenidas al modificar los asfaltos con las diferentes clases de polímeros compatibles, así como la incorporación de llantas de caucho usadas, y brinda una indicación de sus costos relativos

Panorama del mejoramiento producido en las propiedades de los ligantes por diferentes clases de polímeros						
Polímero	Resistencia			Adhesión de los agregados	Resistencia al envejecimiento	Incremento de costos
	A la deformación permanente	Al agitación				
Termoendurecibles	+++	++	++	+	+	Muy alto
Elastómeros	++	++	++	+	0/+	Medio alto
Plastómeros	1	+	0	0	0	Medio medio
Caucho de llanta usada	0/+	+ / ++	1	0	0	Medio
1 Excelente +++ Muy efectivo ++ Mejora sustancial + Mejora significativa 0 Poca o ninguna mejora						

Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Montejó Fonseca (2002)

**TABLA 2.2 Mejoras en asfaltos debido a la utilización de polímeros**

Los polímeros termoendurecibles producen ligantes de propiedad muy superiores, pero resultan muy costosos y difíciles de elaborar y aplicar. Los ligantes con niveles significativos de elastómeros (tipo SBS) mejoran sustancialmente la resistencia a la deformación y al fisuramiento térmico y por fatiga, mejoran la adhesividad con los agregados y también favorecen la resistencia al envejecimiento. Los ligantes que contienen plastómeros como el EVA, mejoran la resistencia a la deformación permanente, pero tienen menor efecto sobre las demás características, por último el comportamiento con caucho de llantas es muy variable, dependiendo del tipo y

porcentaje de caucho y de las condiciones de procesamiento. Para generar los beneficios indicados en la tabla 2.2, se requiere incorporar entre 8 y 20% de caucho, a temperaturas muy elevadas (200 a 230 °C).

### **2.3.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS**

En la actualidad, los asfaltos modificados se caracterizan a través de ensayos de tipo convencional así como de otros que se han desarrollado específicamente adaptados a las particularidades de este nuevo ligante.

Algunos de ellos se describen a continuación:

#### **2.3.5.1. Ensayos de identificación y composición**

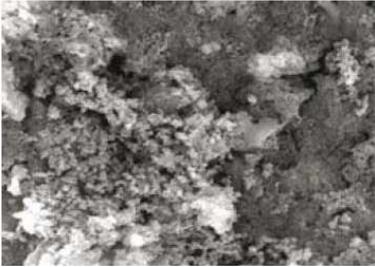
Estos ensayos tienen por objeto conocer el tipo y proporciones del polímero en el ligante.

En algunos polímeros de uso generalizado en la modificación del asfalto, como los copolímeros de butadieno-estireno (SBS), se determina su proporción mediante técnicas analíticas convencionales, como son la extracción selectiva con disolvente o precipitación del polímero; pero generalmente es necesario el empleo de técnicas como la espectroscopia infrarroja, cromatografía sobre geles porosos, etc., para su determinación.

### 2.3.5.2. Ensayos de compatibilidad

Se debe hacer una estimación “a priori” de la compatibilidad para el caso de polímeros termoplásticos y cauchos sin vulcanizar, comparando los parámetros de solubilidad del polímero y del ligante; o bien mediante la relación hidrofílica-lipofílica (HLB) si el polímero es un termoendurecibles; pero el control de la dispersión del polímero en el ligante se realiza generalmente por microscopia óptica de fluorescencia por reflexión técnica que permita observar la micromorfología de estos ligantes.

La micromorfología depende, además del método y condiciones de fabricación, de la compatibilidad de los dos componentes, por lo que puede ser un método rápido para evaluar esta característica.

	<p>Análisis correspondiente al asfalto original, se puede ver el aspecto arenoso de la muestra de estructura homogénea</p>
	<p>Análisis correspondiente al asfalto modificado solamente con 1% de polímero “A”, se distinguen fácilmente las partículas del polímero (granos brillantes) en el asfalto de aspecto menos arenoso y más plastificado que el original</p>

	<p>Se observa la morfología del asfalto modificado con 1% de polímero “A” y 14% de caucho; corresponde a una mezcla realizada sin controlar la granulometría de los polímeros, se ven zonas brillantes de polímero separado del ligante</p>
	<p>Esta es la misma mezcla que la anterior pero preparada con un polímero con tamaño de grano homogéneo, se observa un aspecto más uniforme. Será estable frente al almacenamiento y las temperaturas elevadas y conservará sus propiedades en el tiempo.</p>

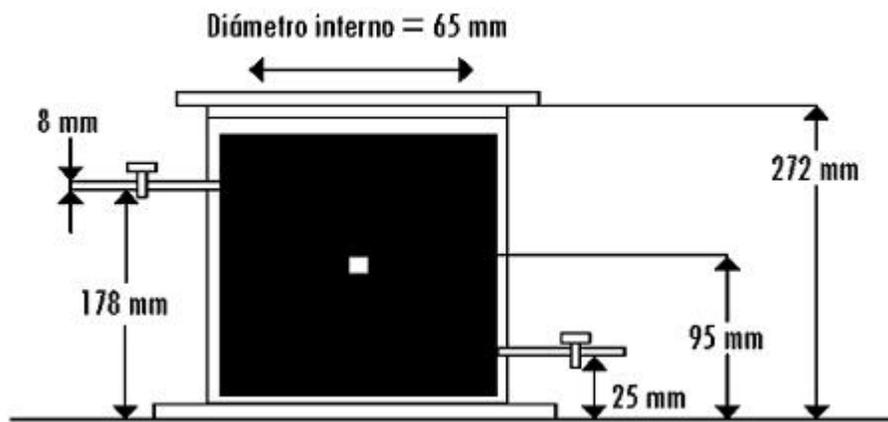
Fuente: Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado, Bogotá 2009

**FIGURA 2.10** Análisis morfológico de un mismo tipo de asfalto con y sin modificación mediante microscopía electrónica.

### 2.3.5.3. Ensayos para determinar la estabilidad al almacenamiento

Durante el almacenamiento a elevadas temperaturas se pueden producir, en los asfaltos modificados con polímeros, fenómenos de cremado o sedimentación, enriqueciéndose el asfalto en polímero en la parte superior o inferior del tanque, dependiendo de la densidad del polímero respecto al asfalto. Esta desestabilización se puede producir por falta de compatibilidad entre ambos, y/o por dispersión incorrecta del polímero, porque el sistema y condiciones de mezclado sean diferentes.

La mayoría de los procedimientos ideados para valorar este fenómeno consiste en mantener el asfalto-polímero en un recipiente en posición vertical sobre la estufa a elevada temperatura durante un período de tiempo razonable y tomar muestras en la parte superior e inferior de del recipiente para detectar las diferencias de concentración del polímero entre ellas, generalmente de manera indirecta a través del ensayo de punto de ablandamiento.



Fuente: The Shell Bitumen Handbook, 2004

**FIGURA 2.11** Especificaciones del equipo empleado para la prueba de estabilidad al almacenamiento asfalto-polímero

#### **2.3.5.4. Ensayos de comportamiento reológico y susceptibilidad a la temperatura**

Las propiedades reológicas de los asfaltos-polímeros se evalúan generalmente mediante los ensayos convencionales utilizados en la caracterización de los asfaltos sin modificación, es decir: penetración, punto de ablandamiento, índice de penetración, punto de fragilidad Frass, ductilidad a varias temperaturas.

### **2.3.6. APLICACIONES DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS**

Los asfaltos modificados se deben emplear en construcción de carreteras, en aquellos casos específicos en que las propiedades de los asfaltos tradicionales son insuficientes para cumplir con éxito la función que tiene encomendada, es decir en la fabricación de mezclas asfálticas especiales para pavimentos que están sometida a sollicitaciones excesivas, bien por efecto del tráfico o por otras causas, como temperaturas extremas, agentes atmosféricos, o tipología del pavimento, etc.

Los campos de aplicación más frecuentes de estos materiales son:

- Mezclas drenantes
- Mezclas en calientes en capas delgadas
- Mezclas asfálticas altamente resistentes para capa de rodadura
- Tratamientos superficiales mediante riego con gravilla
- Lechadas asfálticas
- Membrana absorbente de tensiones
- Mezclas de alto modulo

Solo se abordara las mezclas drenantes, objeto de estudio de esta investigación.

### **2.3.6.1. Mezclas Drenantes**

En este tipo de mezclas, se considera que la vida del material está condicionada al grado en que el asfalto se endurece y alcanza el estado en que empieza a presentarse desprendimientos de agregados. Una de las razones de la utilización de polímeros en estas mezclas es la de poder permitir un espesor mayor de la película del asfalto (sin que se produzcan escurrimientos) alargando así la vida del material.

Las mezclas asfálticas drenantes tienen un porcentaje muy elevado de vacíos en la mezcla y una proporción de agregado fino muy baja (inferior al 20% más o menos), por lo que el asfalto debe tener una buena cohesión para evitar la disgregación de la mezcla, además necesita una elevada viscosidad para proporcionar una película de asfalto gruesa envolviendo a los agregados y evitar los efectos perjudiciales del envejecimiento y de la acción del agua en este tipo de mezclas tan abiertas.

## **2.4.MÉTODOS EMPLEADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES**

Debido a las características propias de estas mezclas, la necesidad de desarrollar ensayos que ayuden a comprender de una mejor forma su comportamiento y evaluación es evidente, ya que, debido a la particularidad de su estructura interna supone que la energía de compactación necesaria para lograr la compacidad en obra es menor que en las mezclas convencionales, por lo que es necesario evaluar para qué energía de

compactación se alcanza la máxima densidad en la metodología Marshall, no obstante, se debe tener presente que para el caso de las mezclas drenantes las propiedades requeridas nada tienen que ver con su estabilidad, son otras propiedades y características las que importan siempre y cuando se adapten a los fines buscados y tomando en cuenta las solicitaciones a las que la mezcla estará sometida.

Algunas de las metodologías normalmente utilizadas son:

***CANTABRO (Origen ESPAÑA)***

El método parte del estudio de la cohesión en la mezcla, la cual se realiza en base a exigencias de estudios a sus agregados y asfaltos disponibles. Se fabrican numerosos especímenes para analizarlos en laboratorio, determinando la pérdida por desgaste de una probeta de mezcla empleando la máquina de Los Angeles sin la carga de bolas de acero.

Se evalúan de antemano las características fundamentales en la mezcla, como son la macrotextura, la cantidad de vacíos y la fricción, parámetros iniciales de diseño.

***AUSTRALIANA (Open Graded Asphalt Design Guide, originada en la Australian Asphalt Pavement Association)***

Se basa en una “Guía de Diseño” la cual hace la composición de ensayos y determinaciones características, mediante “Cartas de Diseño”. Con esto es posible establecer qué porcentaje de asfalto es el necesario en el diseño de la mezcla de obra, respetando valores de ensayos tales como:

Cántabro Seco, Cántabro Húmedo, Vacíos, Escurrimiento.

Esta guía de diseño sugiere dos rangos de aplicación, denominados como:

- Tipo I, TMDA (Tránsito Medio Diario Anual)  $< 500$  ( $N < 5 \times 10^6$ )
- Tipo II, TMDA (Tránsito Medio Diario Anual)  $> 500$  ( $N > 5 \times 10^6$ ).

El Tipo I, provee una modesta performance, el Tipo II está destinado a la más alta performance, con elevado contenido de asfalto así como el uso de asfalto modificado.

La Guía de Diseño consta de: Selección del TMN; Selección de la granulometría y del asfalto de prueba. Previamente a la determinación del contenido de asfalto de la mezcla, debe determinarse la absorción de asfalto por parte del agregado pétreo. La metodología se refiere únicamente al asfalto efectivo. Existe un mínimo contenido de asfalto referido al TMN y vinculado al recubrimiento, con una película que asegure cohesión y durabilidad. El máximo se relaciona a la posibilidad de escurrimiento de asfalto durante el transporte.

### ***RP (Origen CHILE)***

Esta metodología fue desarrollada en Chile, en el Laboratorio Nacional de Vialidad, MOP, por los Ing. Héctor Rioja V. y Gabriel Palma P.

La metodología consiste en la medición del esfuerzo a la penetración, a temperatura y velocidad controlada, que presentan probetas de mezcla asfáltica abierta, fabricadas de acuerdo con la metodología Marshall. Utilizando en este caso 45 golpes por cara y distintos contenidos de asfalto, considerando que la mezcla óptima es aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración.

### ***TRACCIÓN INDIRECTA (Origen BRASIL)***

Esta es una metodología sencilla que se basa en obtener un esfuerzo de tracción por compresión diametral. El conocimiento de los valores de tracción indirecta en laboratorio representa una herramienta más al conocimiento, puesto que el único control que se le realiza a una capa terminada es la determinación de su densidad y se compara con la obtenida en la compactación Marshall.

En esta investigación, la metodología Cántabro será la que se utilizara para su desarrollo.

## **2.5.METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE ASFALTOS MEDIANTE EL EMPLEO DEL ENSAYO CANTABRO**

En el año 1979, en el Laboratorio de Caminos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Santander, los ingenieros Félix Pérez Jiménez y Carlos Kraemer iniciaron los estudios encaminados a la caracterización de las mezclas asfálticas de granulometría abierta para su empleo en capas de rodadura, especialmente para establecer una metodología de dosificación en laboratorio para mezclas drenantes.

En un inicio, no se contaba con procedimientos que indicaran cada uno de los pasos a seguir en el diseño y evaluación de estas mezclas en laboratorio, lo que significó uno de los tantos problemas al que había de dar solución, otros problemas, fueron la falta de

métodos de ensayos que propiciaran información del comportamiento mecánico de la mezcla. Era evidente la marcada diferencia de los materiales empleados en la hechura de estas mezclas para la construcción de carreteras, en comparación con las mezclas tradicionales o densas, por ejemplo: normalmente, la propiedad más perseguida en mezclas tradicionales (densas) es su estabilidad y los ensayos han sido desarrollados con el fin de evaluar particularmente esta propiedad. Paralelamente es lo que ocurre con la mayoría de los métodos de dosificación y proyecto de mezclas, basados en la obtención de la estabilidad máxima.

Finalmente se llegaron a desarrollar dos ensayos para la caracterización de las mezclas drenantes:

1. Ensayo cántabro, para medir la pérdida por desgaste utilizando la máquina Los Ángeles.
2. Permeámetro de carga variable LCS, para poder verificar los porcentajes de vacíos de la mezcla, ya sea en Laboratorio o en campo.

La realización del ensayo cántabro puede realizarse tanto en estado seco como en húmedo, simulando en laboratorio la acción abrasiva del tránsito y la influencia del agua, lo que facilita el estudio y dosificación de estas mezclas.

Se supone entonces que se obtienen menores pérdidas con la realización del ensayo, cuando se tienen una mayor calidad y un porcentaje acorde de los componentes que proporcionan la cohesión a la mezcla.

### 2.5.1. METODOLOGIA

En esta metodología Cántabro se contemplan los pasos siguientes:

**Elección de la curva granulométrica:** Esto dependerá de la norma del país o región en base a la cual se esté trabajando; en el caso de no poseerse normativa propia alguna, tal y como sucede en nuestro país, que, carecemos de valores propios de porcentajes requeridos en cada una de las mallas para este tipo de mezclas.

**Elección de los porcentajes de asfalto para el diseño:** Serán esos porcentajes a ser adicionados a los agregados para la fabricación de la mezcla, con los cuales serán elaboradas las probetas de ensayo; y con las que realizara el análisis del comportamiento de la mezcla.

Se realizan los ensayos especificados (cántabro seco y cántabro húmedo) con el fin de determinar para qué porcentaje de asfalto adicionado a la mezcla se cumple con las exigencias establecidas, realizándose, de ser necesario, las correcciones en el diseño que garanticen el cumplimiento de dichas especificaciones.

Para la determinación de la densidad aparente de cada probeta, el volumen se obtiene de forma geométrica.

### **2.5.2. PROPOSITO DE LA METODOLOGIA**

El propósito del método Cántabro es determinar el contenido óptimo de asfalto para la combinación seleccionada de agregados, se basa fundamentalmente en la realización del ensayo Cántabro tanto en estado seco como húmedo y, se apoya en los resultados de ensayos complementarios con el fin de asegurar las características que se buscan en la mezcla drenante.

### **2.5.3. DESCRIPCION GENERAL**

El ensayo consiste en fabricar con la mezcla que se ha diseñado y objeto de estudio, una probeta tipo Marshall e introducirla en la máquina de ensayo de Los Ángeles (sin bolas) a una temperatura dada, después de un número determinado de vueltas se saca la probeta, que durante el ensayo ha ido perdiendo masa debido al desgaste de los áridos situados en la superficie, esta masa es registrada. Como resultado del ensayo se obtiene el valor de la pérdida por desgaste expresada en tanto por ciento del peso inicial.

Los dos estados en que puede realizarse el ensayo son:

#### ***Cántabro seco:***

La norma NLT-352/86 contiene la descripción del procedimiento que debe seguirse, empleando la máquina de Los Ángeles. El procedimiento descrito puede ser empleado tanto en el proyecto de mezclas realizadas en laboratorio como para el control que sea llevado en obra. El campo de aplicación hace referencia a las mezclas asfálticas

fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño es inferior a 25 mm. El ensayo es realizado a una temperatura de 25 °C, lo cual permite valorar indirectamente la cohesión y trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito.

#### **Cántabro húmedo:**

La norma NLT-362/92 contiene la descripción del procedimiento que debe seguirse, empleando la máquina de Los Ángeles. La realización del ensayo en estado húmedo permite establecer una valoración de la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua en la mezcla y el efecto producido por el empleo de asfaltos modificados en la mejora de esa propiedad.

Si al realizarse el cántabro húmedo de mezclas se obtiene pérdidas altas o un índice de aumento de las pérdidas respecto al ensayo de Cántabro Seco también alto, estaríamos ante un indicativo de una falta de resistencia de la mezcla a la acción del agua. Aspecto no deseable en la mezclas drenantes.

#### **2.5.4. ESPECIFICACIONES DE LA METODOLOGÍA**

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

% Huecos > 20 %

Pérdida al Cántabro seco (25 °C) < 25 %

Pérdida al Cántabro tras Inmersión (24 hs, 60 °C) < 35 %

Los porcentajes de asfalto con respecto al peso total de la mezcla oscilarán entre 3% y 5%, puesto se espera el contenido óptimo se encuentre en dicho rango.

En los países que poseen normativa referente a mezclas drenantes los rangos granulométricos varían, sin embargo suele conservarse el TMN de ½”.

En posteriores capítulos se analizarán con más detalle los parámetros que se utilizarán para el diseño de la mezcla, los cuales han sido seleccionados de normativas extranjeras debido a la falta de documentación respecto a este tema; normativas como la colombiana, del Instituto Nacional de Vías (conocidas como INVIAS), la cual servirá de base al estudio; las normas ASTM y ASSHTO para el testeado de los componentes de la mezcla y evaluación de las características propias de esta, que puedan ser evaluadas mediante estas últimas dos normativas, como es el caso de los vacíos presentes en la mezcla, por ejemplo .

#### **2.5.5. EVALUACIÓN Y AJUSTES DE UNA MEZCLA DE DISEÑO**

El diseño de la mezcla drenante según la normativa INVIAS establece que, el contenido óptimo de asfalto en la mezcla deberá ser elegido de forma tal que sean cumplidos los siguientes criterios:

- *% vacíos (Norma AASHTO T 269 – 97 (2003))* 20% < % vacíos < 25%

- ***Permeabilidad***

100 ml atraviesan una probeta en un tiempo no mayor a 15 segundos.

- ***Pérdida al Cántabro seco (25 °C) (Norma NLT 352/86)***

< 25 %

- ***Pérdida al Cántabro tras Inmersión (24 hs, 60 °C) (Norma NLT 352/86)***

< 40 %

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se podrá ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan de manera frecuente las tolerancias granulométricas establecidas en la normativa de referencia utilizada, se requerirá el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

## **2.6.PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LA FORMULA DE TRABAJO DE LA MEZCLA DRENANTE**

La normativa con la cual será analizada la mezcla drenante para la presente investigación, será la proporcionada por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia.

La gradación de los agregados será la siguiente:

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
mm	Denominación	MD-1*
19	3/4"	100
12.5	1/2"	70 – 100
9.5	3/8"	50 – 75
4.75	N° 4	15 – 32
2	N° 10	9 – 20
0.425	N° 40	5 – 12
0.075	N° 200	3 – 7

Fuente: Tabla 453.1 Franja granulométrica para mezcla drenante, Artículo 453-07, normativa INVIAS  
 (\*) Mezcla Drenante

**TABLA 2.3 Especificación granulométrica para mezcla drenante.**

- Realización del ensayo Cántabro:
  - Con la composición granulométrica obtenida en laboratorio basada en la especificación de la tabla 2.3, se preparan un mínimo de cuatro probetas para cada contenido de asfalto a ser ensayado.
  - Las distintas fracciones de áridos que componen la mezcla se secan en horno hasta obtener masa constante a una temperatura de 105 a 110°C.
  - El asfalto a ser utilizado debe ser calentado hasta un temperatura tal que su viscosidad permita una buena envoltura de los agregados sin que se produzca escurrimiento.

- Se preparan las distintas fracciones de agregados que conformaran la mezcla, la cantidad total de agregados para cada probeta a fabricar deberá ser de 1000 g, el resto del proceso sigue el mismo que para el procedimiento Marshall.
- En la compactación de la mezcla se utiliza el equipo y procedimiento de compactación Marshall, sin embargo se tiene una diferencia en la energía de compactación, puesto que será de 50 golpes por cara.
- Una vez desmoldadas las probetas, se determinan su densidad y contenido de vacíos a partir de la medida geométrica de su volumen y densidad relativa de los materiales.
- En el Cántabro seco, una a una las probetas se introducen en el tambor de la máquina de Los Angeles y, sin la carga abrasiva de las bolas, se hace girar el tambor a una velocidad normalizada de 3.1 a 3.5 rad/s (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas, la temperatura de ensayo estará comprendida entre 15 y 30°C, con una tolerancia máxima de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada.

- En el Cántabro húmedo las probetas deberán introducirse en un baño maría por 24 horas a una temperatura de  $\pm 60^\circ\text{C}$ , luego se dejan secar durante 24 horas a una temperatura de 25°C y finalmente se les practica el mismo proceso que en el Cántabro seco a fin de conocer el valor de pérdida por desgaste de cada una de las probetas.

- El ensayo Cántabro debe realizarse tanto en estado seco como en húmedo.
- Se recomienda realizar prueba de permeabilidad con el fin de asegurar que los vacíos con aire están debidamente interconectados.
- El contenido de asfalto en la probeta que cumpla con las especificaciones con que se esté trabajando será el seleccionado como el contenido óptimo de asfalto para la granulometría seleccionada.

# CAPÍTULO III

---

## Agregados y Asfalto

### **3.1.INTRODUCCION**

Al igual que en la mezclas tradicionales, en el diseño de las mezclas asfálticas drenantes, intervienen dos materiales indispensables para la elaboración de las mismas, el asfalto y los agregados, sin embargo las características que deben de presentar estos dos componentes en el diseño de mezclas drenantes, son muy diferentes comparadas con las tradicionales, considerando el alto contenido de vacios a alcanzar.

En el presente capitulo se abordan las características de los materiales que se utilizaran en el diseño de la mezcla drenante, cuya selección ha sido justificada de acuerdo a las especificaciones recomendadas por el Instituto Nacional de Vías de Colombia (normativa INVIAS), ya que no se cuenta con criterios propios en el país en lo que respecta al diseño de estas mezclas; sin embargo la selección se ha realizado evaluando además, el desempeño de los mismos en la mezcla, ya que la investigación tiene por objetivo utilizar materiales que se encuentren a disposición, lo que en el caso del asfalto, por ejemplo, se ha seleccionado de acuerdo al buen desempeño que presento en la mezcla (como se observa en los resultados del Capítulo 4).

Además se presentan los resultados de ensayos en agregados y asfaltos basados en las normas ASTM Y AASHTO, con una breve descripción de dichos ensayos, ya que entre los alcances de este trabajo, no se pretende brindar una guía para el ensayo de materiales pétreos y asfalto, sin embargo se ha hecho así, para facilitar al lector la comprensión de lo que aquí se presenta.

### **3.2.ESPECIFICACIONES PARA AGREGADOS DE MEZCLAS DRENANTES**

En la normativa colombiana (normativa INVIAS), específicamente en su apartado sobre mezclas drenantes se establecen las características que deben de cumplir los agregados a utilizar en la elaboración de la mezcla, de acuerdo a los estudios y experiencias colombianas, obtenidas en el área, características que a continuación serán abordadas.

- Con respecto a los agregados pétreos, estos no deben de ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físicoquímica apreciable bajo las condiciones a que se encuentre expuesta en el lugar de empleo, tampoco deben dar origen (con el agua u otro agente) a disoluciones, por los problemas que estas puedan causar a la estructura o a las capas del pavimento, o la contaminación a las aguas subterráneas que puedan estar presentes.
  
- El agregado fino debe proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena sin embargo se establece la siguiente condición, si este es el caso:
  - La proporción de arena natural no puede exceder del quince por ciento (15 %) de la masa total del agregado combinado, cuando el tránsito sea  $5.0 \times 10^6$  ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño ni exceder de

veinticinco por ciento (25 %) para tránsitos de menor intensidad. En todo caso, la proporción de agregado fino no triturado no puede exceder la del agregado fino triturado empleado en la mezcla.

- El filler es una importante aportación a realizar para mejorar la adherencia de la mezcla, este puede proceder del agregado pétreo o cualquier producto comercial o especialmente preparado para este fin; el filler total deberá estar formado por un mínimo de 50% de aportación, excluyendo el que inevitablemente queda adherido a los agregados, este último no puede exceder de dos por ciento (2%) de la masa de la mezcla.

El conjunto de agregado grueso, agregado fino y filler deberá ajustarse a la gradación indicada en la siguiente tabla:

TAMIZ ASTM	TAMIZ (mm)	MD-1*	
		ESP. INF	ESP. SUP
3/4"	19,00	100	100
1/2"	12,50	70	100
3/8"	9,50	50	75
N° 4	4,75	15	32
N° 10	2,00	9	20
N° 40	0,425	5	12
N° 200	0,075	3	7

Fuente: Tabla 453.1 Franja granulométrica para mezcla drenante, Artículo 453-07, normativa INVIAS  
(\* ) Mezcla Drenante

### **TABLA 3.1 Especificación granulométrica para mezcla drenante**

Se busca que la curva granulométrica encaje en estos límites, con el objeto de obtener un alto contenido de vacíos en la mezcla, además, para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la especificación; el material a

producir deberá dar lugar a una curva granulométrica sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa.

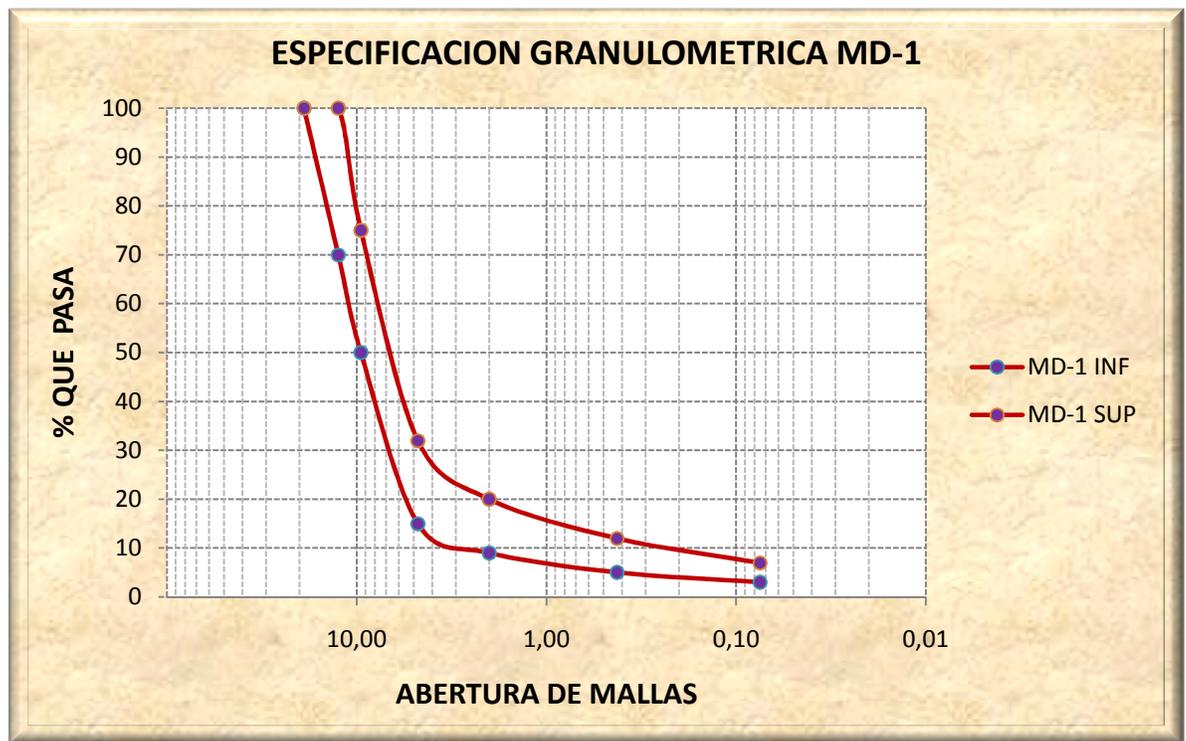


FIGURA 3.1 Representación Grafica de Especificación granulométrica MD-1

En cuanto a los requerimientos que estos deben de satisfacer, se presentan en la tabla 3.2

TIPO DE MEZCLA	DESGASTE LOS ANGELES	DESGASTE MICRO-DEVAL	10% DE FINOS (KN)		PERDIDAS EN ENSAYO DE SOLIDEZ		PARTICULAS FRACTURADAS MECÁNICAMENTE (Agregado grueso) % mínimos 1 cara/2 caras	COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO	FORMA	I.P. Índice de Plasticidad	EQUIVALENTE DE ARENA	CONTENIDO DE IMPUREZAS (Agregado grueso)
			Seco	Relación húmedo /seco	Sulfato de sodio	Sulfato de magnesio			Partículas planas y alargadas (Relación 5:1)			
NORMA INV	E-218 E-219	E-238	E-224		E-220	E-220	E-227	E-232	E-240	E-125 E-126	E-133	E-237
NORMAS DE REFERENCIA	ASTM C 131 – 01 AASHTO T 96 – 02	AASHTO T327 – 05 ASTM D6928 – 03 UNE EN 1097 – 1	BS 812 Parte 110 – 1990		AASHTO T 104 – 99 (2003) ASTM C 88 – 99a		ASTM D 5821 – 01	UNE 146130 : 2000	ASTM D 4791 – 99	AASHTO T 89-02 ASTM D 4318- 00 AASHTO T 90-00 (2004)	ASTM D 2419 – 95 AASHTO T 176 – 02	UNE 14613 : 2000
MEZCLA DRENANTE	25 % máx.	20 % máx.	110 min.	75% min.	12% máx.	18% máx.	85/70	0.45 mín.	10% máx.	N.P.	50% mín.	0.5 máx.

Fuente: Tabla 400.1 (c) Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas, Nivel de transito NT3 Artículo 400-07 de la normativa Colombiana INVIAS.

**TABLA 3.2 Requerimientos para agregados**

### **3.3. ENSAYOS A LOS AGREGADOS**

Los agregados que se utilizarán para el diseño de la mezcla drenante, son agregados procesados, con un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ".

Los ensayos que le fueron realizados a las fracciones de agregados a ser utilizados en el diseño de la mezcla son:

- Desgaste los Ángeles
- Perdidas en ensayo de solidez (sulfato de sodio)
- Partículas fracturadas mecánicamente
- Partículas planas y alargadas
- Índice de plasticidad
- Equivalente de arena
- Contenido de impurezas (agregado grueso)

### **3.3.1. RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO POR IMPACTO Y ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ANGELES**

**Basado en norma AASHTO: T 96 -2002  
Con equivalencia en ASTM: C 131-2001**

#### **ALCANCE Y DESCRIPCION**

Este ensayo es una medida al desgaste de los agregados minerales de graduaciones estándar resultado de una combinación de acciones que incluye la abrasión o el desgaste, impacto, y desintegración en un tambor de acero rotatorio que contiene un número especificado de esferas de acero el cual depende de la graduación de la muestra de ensayo. Después del número prescrito de revoluciones, los contenidos son removidos del tambor y la porción del agregado es tamizada para medir el desgaste como un porcentaje de pérdida.

El ensayo representa fundamentalmente el desgaste sufrido por los agregados durante el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica y de la posterior compactación en obra al utilizarse equipos pesados, ha sido ampliamente usado como un indicador de la calidad relativa o la comparación de varias fuentes de agregado que tengan similar composición mineral. El resultado automáticamente no permite comparaciones válidas para ser hechas entre fuentes claramente diferentes en origen, composición, o estructura.



**FIGURA 3.2 Máquina de los Angeles**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



**RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO POR IMPACTO  
Y ABRASION EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES**

(Basado en ASTM C 131)

Proyecto: Verificación de la calidad Fecha de muestreo: \_\_\_\_\_  
Material: Grava 3/4" - 1/4" ECON Fechade ensayo: 11/06/2010  
Procedencia: La Cantera ECON Muestra No. \_\_\_\_\_

Tipo de granulometria: **Tipo B**  
Numero de esferas: **11**  
Carga abrasiva: **4584 ± 25**

MALLA	PESOS
Pasa la malla de 3/4" y se retiene en la de 1/2"	
Pasa la malla de 1/2" y se retiene en la de 3/8"	
Peso total de la muestra de ensayo ( $W_{inicial}$ )	
Peso despues de la prueba ( $W_{final}$ )	
% de Desgaste ( $(W_{inicial}-W_{final})/W_{inicial} \times 100$ )	<b>18%</b>

Observaciones:

Material muestreado en la cantera



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



**RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO POR  
IMPACTO Y ABRASION EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES**

(Basado en ASTM C 131)

Proyecto: Verificación de la calidad  
Material: Arena triturada  
Procedencia: La Cantera ECON

Fecha de muestreo: \_\_\_\_\_  
Fecha de ensayo: 11/06/2010  
Muestra No. \_\_\_\_\_

Tipo de granulometria: **Tipo D**  
Numero de esferas: **6**  
Carga abrasiva: **2500±  
15**

MALLA	PESOS
Pasa la malla de N° 4 y se retiene en la N° 8	
Peso total de la muestra de ensayo ( $W_{inicial}$ )	
Peso despues de la prueba ( $W_{final}$ )	
% de Desgaste ( $(W_{inicial}-W_{final})/W_{inicial} \times 100$ )	<b>15,56%</b>

Observaciones:

Material muestreado en la cantera

### 3.3.2. ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADOS POR SULFATO DE SODIO

Basado en norma ASTM: C 88-99a

Con equivalencia en AASHTO: T 104-99(2003)

#### ALCANCE Y DESCRIPCION

Mediante este método se puede obtener una información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climatológicas de la obra. Se llama la atención sobre el hecho que los resultados que se obtienen varían según la sal que se emplee y que hay que tener cuidado al fijar los límites en las especificaciones en que se incluya la realización de este ensayo.



Fuente: Tesis "Guía Básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente", UES 2007

**FIGURA 3.3 Agregados en saturación con sulfato de sodio.**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADOS POR SULFATO DE SODIO  
 (Basado en ASTM C 88)

Proyecto: Verificación de la calidad Fecha de 04/01/2010  
 Material: Grava 3/4" - 1/4" ECON Fechade 18/01/2010  
 Procedencia: Acopios planta Multipav Guazapa Muestra No. 171

AGREGADO GRUESO						
Tamaño de tamiz		% Retenido parcial	Peso por fraccion antes de ensayo (g)	Peso por fraccion despues de	% Perdida en fraccion	% Perdida en muestra original
Pasa	Retiene					
3/4"	1/2"	27.1	674.2	662.9	1.68	0.45
1/2"	3/8"	29.7	331.8	323.1	2.62	0.78
3/8"	N° 4	40.4	302.2	295.8	2.12	0.86
<b>TOTALES</b>		97.2	1308.2	1281.8		<b>2.09</b>
ANALISIS CUALITATIVO DE AGREGADO DRUESO (MAYOR DE 3/4")						
Tamaño de tamiz		N° DE PARTICULAS ANTES DE LA PRUEBA	PARTICULAS EXHIBIENDO DAÑOS			
			PARTIDAS	DESMENUZADAS	AGRIETADAS	DESCASCARADAS
2 1/2"	1 1/2"	-	-	-	-	-
1 1/2"	3/4"	-	-	-	-	-
AGREGADO FINO						
Tamaño de tamiz		%Retenido parcial Muestra original	Peso por fraccion antes de ensayo (g)	Peso por fraccion despues de ensayo (g)	% Perdida en fraccion	% Perdida en muestra original
Pasa	Retiene					
3/8"	N° 4					
N° 4	N° 8	2.2				
N° 8	N° 16	0.2				
N° 16	N° 30	0				
N° 30	N° 50	0				
N° 50	N° 100	0				
MENOS DE N° 100		0.4				
<b>TOTALES</b>		2.8				

Observaciones:

Pérdidas después de 5 ciclos en gruesos = 2.09 %

### **3.3.3. DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO**

**Basado en norma ASTM: D 5821-01**

#### **ALCANCE Y DESCRIPCION**

Algunas especificaciones contienen los requisitos relativos al porcentaje de partículas fracturadas en los agregados gruesos. Uno de los propósitos de tales requisitos es maximizar la resistencia al corte al aumentar la fricción entre las partículas en cualquier mezcla de agregado dependiente o independiente. Otro propósito es proporcionar la estabilidad de los agregados en tratamiento de superficies y para proporcionar una mayor fricción y textura de los agregados utilizados en la superficie del pavimento. Especificaciones difieren en cuanto al número de caras fracturadas requerida sobre una partícula fracturada, y también difieren en cuanto a si el porcentaje de la masa o el porcentaje por el número de partículas se utilizará. Si la especificación no especifica, utiliza el criterio de al menos una cara fracturada y calcular el porcentaje en masa.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



**DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN  
 EL AGREGADO GRUESO  
 (Basado en ASTM D 5821)**

Proyecto: Verificación de la calidad Fecha de muestreo 06/05/2010  
 Material: Grava 3/4" - 1/4" ECON Fechade ensayo 07/05/2010  
 Procedencia: La Cantera ECON Muestra No. \_\_\_\_\_

Masa de partículas X  
 Criterio de caras fracturadas utilizado: DOS caras  
 Muestra inicial de la granulometria (MT): 5000 gramos

Malla N°	Peso retenido parcial según granulometria	Cantidad de partículas retenidas	Cantidad de partículas fracturadas por fracción	Cantidad de partículas no fracturadas por fracción	% de partículas fracturadas (P) en la fracción	Cantidad de partículas fracturadas en la muestra total (FT)
3/4"						
1/2"	1966					
3/8"	1352	2000	2000		100	3318
N° 4	1456	200	200		100	1456
N° 8	59.6					59.6
N° 16	38.5					38.5
N° 30	33.8					33.8
N° 40	12.7					12.7
N° 50	11.2					11.2
N° 100	20.8					20.8
N° 200	26.4					26.4
Pasa N° 200	23					23
<b>TOTAL</b>	<b>5000</b>	<b>2200</b>	<b>2200</b>	<b>0</b>	<b>200</b>	<b>5000</b>

$$P = 100*(F/F+N)$$

$$PFT = 100*FT/MT$$

$$PFT = 100 \%$$

Observaciones:

Granulometria N° 848 del 06/05/2010

Material muestreado en el acopio del plantel Guazapa

### **3.3.4. PARTÍCULAS PLANAS, PARTÍCULAS ALARGADAS, Ó PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO**

**Basado en norma ASTM D 4791 - 99**

#### **ALCANCE Y DESCRIPCION**

Las Partículas Planas o alargadas de agregados, para uso en alguna construcción, pueden interferir en la consolidación y resultar en grandes dificultades para colocar materiales.

Este método de ensayo provee una manera para verificar el cumplimiento de las especificaciones que limitan tales partículas o para determinar la forma relativa característica del agregado grueso.



Fuente: Tesis "Guía Básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente", UES 2007

**FIGURA3.4 Equipo necesario para ensayo de particula planas y alargadas**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



**PARTÍCULAS PLANAS, PARTÍCULAS ALARGADAS, Ó PARTÍCULAS  
PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO**  
(Basado en ASTM D 4791-99)

Proyecto: Verificación de la calidad  
Material: Grava 3/4" - 1/4" ECON  
Procedencia: La Cantera ECON

Fecha de 07/05/2010  
Fecha de 07/05/2010  
Muestra No. \_\_\_\_\_

Masa de partículas X  
Criterio de planas y alargadas utilizado: 3 en 1  
Muestras inicial de la granulometría (MT): 5000 gramos

Malla (pul)	% Retenido parcial según granulometría	Cantidad de partículas a ensayarse	Cantidad de partículas planas por fracción	% de partículas planas en la muestra	Cantidad de partículas largas por fracción	% de partículas largas en la muestra	Cantidad de partículas planas y alargadas en la fracción	% partículas planas y largas en la muestra
3/4"								
1/2"								
3/8"								
N° 4	95.5	546.9	16.3	2.8	2.6	0.5	0	0
N° 8	1.2							
N° 16	0.8							
N° 30	0.7							
N° 50	0.5							
N° 100	0.4							
N° 200	0.5							
Pasa la N° 200	0.5							
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>546.9</b>	<b>16.3</b>	<b>2.8</b>	<b>2.6</b>	<b>0.5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Observaciones:

**Granulometría N° 848 del 07/05/2010**

Peso original de la muestra total a ensayarse = 546.9 gr

% Total de planas = 2.8 %

### **3.3.5. DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**

**Basado en norma ASTM: D 4318**

#### **ALCANCE Y DESCRIPCION**

La cantidad de relleno mineral, tienen un doble propósito cuando se añade a las mezclas bituminosas. La porción del relleno mineral que es más fino que el espesor de la película de asfalto y el cemento asfáltico ligante forma una masilla que contribuye al endurecimiento de la mezcla. Las partículas más grandes que el espesor de la película de asfalto se comportan como agregado mineral y contribuir así a los puntos de contacto entre las partículas individuales de agregado.

Se considera que el material utilizado como llenante mineral debe ser no plástico puesto que las partículas no se unen.



**FIGURA 3.5 Copa de Casagrande para la medición del límite líquido**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
 (Basado en ASTM D 4318)

Proyecto: Verificación de la calidad  
 Material: Arena triturada ECON  
 Procedencia: La Cantera ECON

Fecha de muestreo: \_\_\_\_\_  
 Fecha de ensayo: 11/06/2010  
 Muestra No. \_\_\_\_\_

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
Muestra						
No. De golpes						
No. De recipiente						
Masa de recipiente						
Masa de suelo humedo y recipiente						
Masa de suelo seco y recipiente						
Masa de agua						
Masa de suelo seco						
Contenido de agua %						

Limite Liquido (LL)	--
Limite Plastico (LP)	--
Indice de Plasticidad (IP)	NP

Observaciones:  
Se considera que la muestra de suelo es NO PLASTICO (NP) porque al intentar moldearlo perdía rápidamente la forma que se le daba, lo que impedía realizar el ensayo.

### **3.3.6. FINOS PLÁSTICOS EN AGREGADO GRADUADO Y SUELOS POR EL USO DEL ENSAYO DEL EQUIVALENTE DE ARENA**

**Basado en norma ASTM: D 2419-02**

**Con equivalencia en AASHTO: T 176-02**

#### **ALCANCE Y DESCRIPCION**

Este ensayo produce como resultado un valor empírico de la cantidad relativa, finura y carácter del material arcilloso presente en la muestra de suelo o agregado fino.

Se puede especificar un valor mínimo del equivalente de arena, para limitar la cantidad admisible de finos arcillosos en un agregado.

Este método de ensayo permite determinar rápidamente, en el campo, variaciones de calidad de los agregados durante la producción o la colocación.



Fuente: Tesis "Guía Básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente", UES 2007

**FIGURA 3.6 Probeta graduada con material listo para reposar durante el ensayo del equivalente de arena**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



**FINOS PLÁSTICOS EN AGREGADO GRADUADO Y SUELOS POR EL USO DEL  
ENSAYO DEL EQUIVALENTE DE ARENA**

(Basado en ASTM D 2419)

Proyecto: Verificación de la calidad  
Material: Arena triturada ECON  
Procedencia: La Cantera ECON

Fecha de muestreo: \_\_\_\_\_  
Fecha de ensayo: 11/06/2010  
Muestra No. \_\_\_\_\_

	A	B	C	
Lectura de Arcilla	4.6	4.7	4.7	
Lectura de Arena	3.2	3.3	3.3	
Equivalente de Arena	70	71	71	%
Promedio	71			%

Observaciones:

Material muestreado en la cantera

### 3.3.7. TABLA RESUMEN DE CARACTERISTICAS DE AGREGADOS A UTILIZAR

ENSAYO	NORMA	EXIGENCIA	RESULTADO DE LABORATORIO
Resistencia al desgaste de agregado grueso de tamaño pequeño por impacto y abrasión en la máquina de los Angeles <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grava 3/4</li> <li>• Arena triturada</li> </ul>	ASTM C 131 – 0	25% máx	18% 15.56%
Ensayo de sanidad de agregados por sulfato de sodio	ASTM C 88 – 99a	12% máx	2.09%
Determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso	ASTM D 5821 – 01	70% min	100%
Partículas planas, partículas alargadas, ó partículas planas y alargadas en agregado grueso	ASTM D 4791 – 99	10% máx	2.8% PLANAS 0.5% ALARGADAS
Determinación del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de los suelos	ASTM D 4318	N.P.	N.P.
Finos plásticos en agregado graduado y suelos por el uso del ensayo del equivalente de arena	ASTM D 2419 – 95	50% mín.	71%

**TABLA 3.3** Tabla resumen de características del agregado

### 3.4.ESPECIFICACIONES PARA ASFALTO DE MEZCLAS DRENANTES

Las disposiciones exigidas para el asfalto a utilizar en las mezclas drenantes por la normativa INVIAS, establecen el uso de asfaltos modificados con polímero.

Los agentes modificadores (polímeros) contemplados por la normativa son dos:

- EVA (*Etileno-Acetato de Vinilo*)
- S.B.S (*Estireno – Butadieno - Estireno*)

El tipo de asfalto para mezclas en caliente es seleccionado de acuerdo a dos criterios: las características climáticas de la región, y las condiciones de operación de la vía (ver tabla 3.4)

TIPO DE CAPA	Liviano			Mediano			Pesado		
	TEMPERATURA ANUAL MEDIA PONDERADA DE LA REGION (°C)								
	> 24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15
<b>Mezcla Drenante</b>	--	--	Tipo I o Tipo II						

Fuente: Tabla 400. Tipo de cemento asfáltico por emplear en mezclas en caliente de la normativa Colombiana INVIAS.

**TABLA 3.4 Criterios de selección de asfalto**

Respecto a la denominación de asfalto “Tipo I” y “Tipo II” que aparece en la tabla anterior, ambos son asfaltos modificados con la diferencia en cuanto al agente utilizado para la modificación.

“El Tipo I” se basa en las propiedades de asfaltos modificados con EVA o polietileno y se emplean exclusivamente en la elaboración de mezclas de tipo drenante, el “Tipo II” se basa en las propiedades de cementos asfaltos modificados con copolímeros de bloque estirénicos como el SBS se aplica en mezclas drenantes, discontinuas y densas, semidensas y gruesas en caliente en general, a diferencia del tipo I.

El uso de estos queda a criterio del diseñador o a la disponibilidad de los mismos, siempre y cuando cumplan con los requerimientos especificados, los que a continuación se presentan:

CARACTERISTICA	UNIDAD	NORMA DE ENSAYO INV	CORRESPONDENCIAS	TIPO I		TIPO II	
				MIN	MAX	MIN	MAX
<b>ASFALTO ORIGINAL</b>							
Penetración (25°C, 100 g, 5s)	0.1 mm	E-706	ASTM D 5 – 97 AASHTO T 49 – 03 NLT 124 / 84	55	70	55	70
Punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola	°C	E-712	ASTM D 36 – 95 (2000) AASHTO T 53 – 96 (2004) NLT 125 – 84	58	-	58	-
Ductilidad (5°C, 5 cm/min)	cm	E-702	ASTM D 113 AASHTO T 51 NLT 126	-	-	15	-
Recuperación elástica por torsión a 25°C	%	E-727	NLT 329/91	15	-	40	-
Estabilidad al almacenamiento (*) Diferencia en el punto de ablandamiento	°C	E-726 Y E-712	NLT – 328/91 Y ASTM D 36 – 95 (2000) AASHTO T 53 – 96 (2004) NLT 125 – 84	-	5	-	5
Contenido de agua	%	E-704	ASTM D 95 – 99 AASHTO T 55 – 02 NLT 123 / 84	-	0.2	-	0.2
Punto de ignición mediante la copa abierta Cleveland	°C	E-709	AASHTO T 48 – 04 ASTM D 92 – 02b	230	-	230	-
<b>Residuo del ensayo de pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento (INV E-720)</b>							
Perdida de masa	%	E-720	ASTM D 2872 – 97 AASHTO T 240 – 03		1	-	1
Penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento, % de la penetración original	%	E-706	ASTM D 5 – 97 AASHTO T 49 – 03 NLT 124 / 84	65	-	65	-
Ductilidad (5°C, 5 cm/min)	cm	E-702	ASTM D 113 AASHTO T 51 NLT 126	-	-	8	-

(\*) Se puede prescindir de este requerimiento cuando los elementos de transporte y almacenamiento estén provistos de un sistema de homogeneización adecuado.

Fuente: Tabla 400.4 Especificaciones de cementos asfálticos modificados con polímeros, Artículo 400-07 de la normativa Colombiana INVIAS.

**TABLA 3.5 Requerimientos para el asfalto.**

### **3.5.ENSAYOS DEL ASFALTO**

El tipo de asfalto a utilizar para el diseño de la mezcla drenante, consiste en un asfalto de tipo modificado, con polímero SBS del tipo III-D, del cual se presentan los resultados de los ensayos que se le realizaron.

Los ensayos que se le fueron realizados al asfalto a ser utilizados en el diseño de la mezcla son:

- Punto de flama y llama por la copa abierta de Cleveland
- Penetración de materiales bituminosos
- Viscosidad cinemática
- Efecto del calor y el aire en materiales asfálticos (ensayo de película delgada en horno)

### **3.5.1. DETERMINACION DEL PUNTO DE FLAMA Y LLAMA POR LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND**

**Basado en norma AASHTO: T 48 – 04**

**Con equivalencia en ASTM: D 92 - 02b y norma IP: 36/84 (89)**

#### **ALCANCE Y DESCRIPCION**

Este método de ensayo describe la determinación del Punto de Flama y Punto de Llama de productos de petróleo por un aparato manual La Copa Abierta de Cleveland ó un aparato automatizado La Copa Abierta de Cleveland.

Una muestra de material asfáltico de aproximadamente 70 ml es colocado en la Copa de Ensayo. La temperatura del espécimen de ensayo es incrementada rápidamente al inicio y luego a una tasa constante más lenta a medida que se acerca al punto de flama. En intervalos especificados, una pequeña flama de ensayo es pasada sobre el borde superior de la copa. El punto de flama es la temperatura mínima del líquido a la cual la aplicación de la llama de ensayo causa que los vapores del espécimen de muestra ensayado presente destellos. Para determinar el punto de llama, el ensayo es continuado hasta lograr una temperatura a la cual la aplicación de la llama de ensayo cause que el espécimen ensayado se encienda y conserve la llama por un mínimo de 5 s.



Fuente: tesis “Guía Básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente”, UES 2007

**FIGURA 3.7 Vapores y punto de llama en el asfalto.**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



DETERMINACION DEL PUNTO DE FLAMA Y PUNTO DE LLAMA  
POR LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND  
(Basado en ASTM D 92-02b)

Solicitante: Universidad de El Salvador  
Proyecto: Trabajo de Graduación  
Procedencia: Planta Asfalca,  
Ubicación: Sonsonate  
Material: Asfalto III-D  
Laboratorista: Roberto Escobar  
Fecha de ensayo: 22/10/09

DESCRIPCION	VALORES
Presión barométrica durante el ensayo (mmHg)	760
Punto de flama de la copa abierta de Cleveland del Método de Ensayo AASHTO T 48 (oC)	290

Observaciones:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### **3.5.2. ENSAYO PARA LA PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS**

**Basado en norma AASHTO: T 49-03**

**Con equivalencia en ASTM: D 5-97**

#### **ALCANCE Y DESCRIPCION**

Este método de ensayo cubre la determinación de la penetración en materiales bituminosos sólidos y semi-sólidos.

La muestra es derretida y enfriada bajo condiciones controladas. La penetración es medida con un penetrometro por medio del cual una aguja estándar es aplicada a la muestra bajo condiciones específicas, generalmente se realiza a 25 C, con una carga de 100 g, y un tiempo de penetración de 5 segundos, sin embargo, en la normativas se especifican otras condiciones de ensayo a las que puede ser realizadas, en cuyo caso deben de ser reportadas



Fuente: tesis “Guía Básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente”, UES 2007

**FIGURA 3.8 Ensayo de penetracion en muestras de asfalto.**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



ENSAYO PARA LA PENETRACION DE MATERIALES  
BITUMINOSOS  
(Basado en ASTM D 5-97)

Solicitante: Universidad de El Salvador  
Proyecto: Trabajo de Graduación  
Procedencia: Planta Asfalca,  
Ubicación: Sonsonate  
Material: Asfalto III-D  
Laboratorista: Roberto Escobar  
Fecha de ensayo: 22/10/09

Condiciones de Ensayo	Valores de ensayo
Temperatura (oC)	25
Tiempo (segundos)	5
Carga de penetración (g)	100
<b>Valores de Penetración (dmm)</b>	
Penetración 1 (dmm)	44
Penetración 2 (dmm)	45
Penetración 3 (dmm)	45
Penetración 4 (dmm)	45
Penetración promedio (dmm)	45
<b>Promedio (dmm)</b>	45

Observaciones:

---

---

### 3.5.3. VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE ASFALTOS (Betunes)

Basado en norma AASHTO: T 201-03

Con equivalencia en ASTM: D 2170-01a

#### ALCANCE Y DESCRIPCION

Este método de ensayo cubre los procedimientos para la determinación de la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos (betunes), aceite para caminos (road oil) y residuos de destilación de asfaltos líquidos (betunes) todos a 60 °C (140 °F) y de cementos asfálticos a 135 °C (275 °F) (**NOTA:** en un rango de 6 a 100 000 mm<sup>2</sup>/s (cSt), siempre y cuando se conozca o sea posible determinar, la densidad del material a la temperatura de ensayo).

Se mide el tiempo para un volumen fijo de líquido que fluye a través de una vena capilar de un viscosímetro de vidrio, calibrado bajo una altura de carga exactamente reproducible y a una temperatura estrictamente controlada. La viscosidad cinemática se calcula entonces multiplicando el tiempo de flujo en segundos por el factor de calibración del viscosímetro.



Fuente: tesis “Guía Básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente”, UES 2007  
**FIGURA 3.9 Flujo de asfalto a través de viscosímetro para ensayo de viscosidad cinemática**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE ASFALTOS (Betunes)

(Basado en ASTM D 2170-01a)

Solicitante:	Universidad de El Salvador
Proyecto:	Trabajo de Graduación
Procedencia:	Planta Asfalca,
Ubicación:	Sonsonate
Material:	Asfalto III-D
Laboradorista:	Roberto Escobar
Fecha de ensayo:	22/10/09

Muestra	A	B
Temperatura °C	135 °C	135 °C
Viscosímetro N°	6	6
Identificación del viscosímetro	H55	H56
Rango del Viscosímetro	200-1000 cSt	200-1000 cSt
Constante del Viscosímetro mm <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> (cSt/s)	0.9653	0.9653
Tiempo (s)	360	372
Viscosidad Cinemática 135°C mm <sup>2</sup> /s (cSt)	348.0 cSt	361.0 cSt
<b>PROMEDIO</b>	<b>355.0 cSt</b>	

Observaciones:

---

### **3.5.4. EFECTO DEL CALOR Y EL AIRE EN MATERIALES ASFÁLTICOS (ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA EN HORNO)**

**Basado en norma AASHTO T 179-04**

**Con equivalencia en ASTM D 1754-97 (2002)**

#### **ALCANCE Y DESCRIPCION**

Este método cubre la determinación del efecto del calor y el aire en una película de material asfáltico semisólido. Los efectos de este tratamiento son determinados para medir las propiedades seleccionadas del asfalto antes y después del ensayo.

Una película de material asfáltico es calentada en un horno por cinco horas a 163 ° C (325 ° F). Los efectos del calor y el aire son determinados por cambios ocurridos en las propiedades físicas medidas antes de y después del tratamiento en el horno. Un procedimiento opcional es proporcionado para determinar el cambio de masa de la muestra.



Fuente: tesis "Guía Básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente", UES 2007

**FIGURA 3.10 Horno para ensayo de película delgada y muestra de ensayo**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



EFFECTO DEL CALOR Y EL AIRE EN MATERIALES ASFÁLTICOS  
(ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA EN HORNO)  
(Basado en ASTM D 1754-97 (2002))

Solicitante: Universidad de El Salvador  
Proyecto: Trabajo de Graduación  
Procedencia: Planta Asfalca,  
Ubicación: Sonsonate  
Material: Asfalto III-D  
Laboratorista: Roberto Escobar  
Fecha de ensayo: 22/10/09

DESCRIPCION				
PERDIDA DEMASA EN ASFALTO	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Peso de tara (g)	97.2	97.3	96.8	98.2
Peso de muestra + tara (antes de ensayo) (g)	147.5	147.5	147.1	148.4
Peso de muestra (antes de ensayo) (g)	50.3	50.2	50.3	50.2
Peso de muestra + tara (después de ensayo) (g)	147.4	147.4	147	148.3
Peso de muestra (después de ensayo) (g)	50.2	50.1	50.2	50.1
Perdida de masa (%)	-0.199	-0.199	-0.199	-0.199
Promedio	-0.199			

Observaciones:

---

---

**3.5.5. TABLA RESUMEN DE CARACTERISTICAS DEL ASFALTO A UTILIZAR**

ENSAYO	NORMA	ESPECIFICACION	RESULTADO DE LABORATORIO
Determinación del punto de flama y llama por la copa abierta de Cleveland	ASTM D 92-02b	230	290
Ensayo para la penetración de materiales bituminosos	ASTM D 5	55-70	45
Viscosidad cinemática de asfaltos (betunes)	ASTM D 2170	-	355 cSt
Efecto del calor y el aire en materiales asfálticos (ensayo de película delgada en horno)	ASTM D 1754	1%	0.199%
Softening Point	T 53-96	-	69

**TABLA 3.12** Tabla resumen de características del asfalto.

# CAPÍTULO IV

---

## Diseño de mezcla asfáltica

## **4.1.INTRODUCCION**

Hasta el momento se han estudiado los conceptos sobre las mezclas drenantes y se han definido los materiales a utilizar para la elaboración de la mezcla en base a sus características y al desempeño presentado, en el caso del asfalto por ejemplo, cuya selección se hizo en base a los resultados obtenidos en laboratorio, los que aquí se presentan y justifican su uso.

Este capítulo comprende el diseño de mezcla realizado en laboratorio, la selección de la dosificación, y evaluación de los criterios de diseño establecidos en la norma INVIAS que son las que han servido a los propósitos de esta investigación, se presentan resúmenes de los ensayos realizados a la mezcla para la evaluación de su desempeño, ensayos basados en las normas AASHTO y ASTM en aquellos casos donde ha sido posible relacionarlos con estas normativas, ya que en el caso del ensayo conocido como cántabro se ha tomado el procedimiento que establece las INVIAS por no haber equivalencias del ensayo en las otras normativas.

Finalmente se realiza el análisis de los resultados de laboratorio para establecer el contenido óptimo de asfalto en la mezcla.

## **4.2.DOSIFICACION DE AGREGADOS**

La elaboración de una mezcla drenante implica el empleo de una composición granulométrica muy diferente a la de las mezclas tradicionales, como se ha visto en el desarrollo de esta investigación. En éstas el contenido de arena suele ser muy elevado, generalmente comprendido entre un 33% y un 60%, y por ello, la resistencia de la mezcla, está basada principalmente en la cohesión proporcionada por el asfalto utilizado. El rozamiento interno de la mezcla únicamente, se moviliza frente a altas solicitaciones, mantenidas en el tiempo.

En las mezclas drenantes para poder obtener un contenido en vacíos elevado, es necesario modificar la proporción agregado grueso/agregado fino de tal forma que, en general el contenido de arena suele ser inferior al 20%. Debido a ello, la capacidad de resistencia de la mezcla no puede basarse en la cohesión, puesto que falta mortero, sino en el razonamiento interno.

Esta falta de cohesión hace que la mezcla sea bastante crítica ante ciertos esfuerzos del tráfico, especialmente los de tipo tangencial, que provocan fenómenos de disgregación. Para poder conjugar una buena porosidad con una buena resistencia a la disgregación, es necesario realizar un diseño cuidadoso de la mezcla, eligiendo con detalle los distintos componentes, sus proporciones, y utilizando los distintos ensayos puestos a punto.

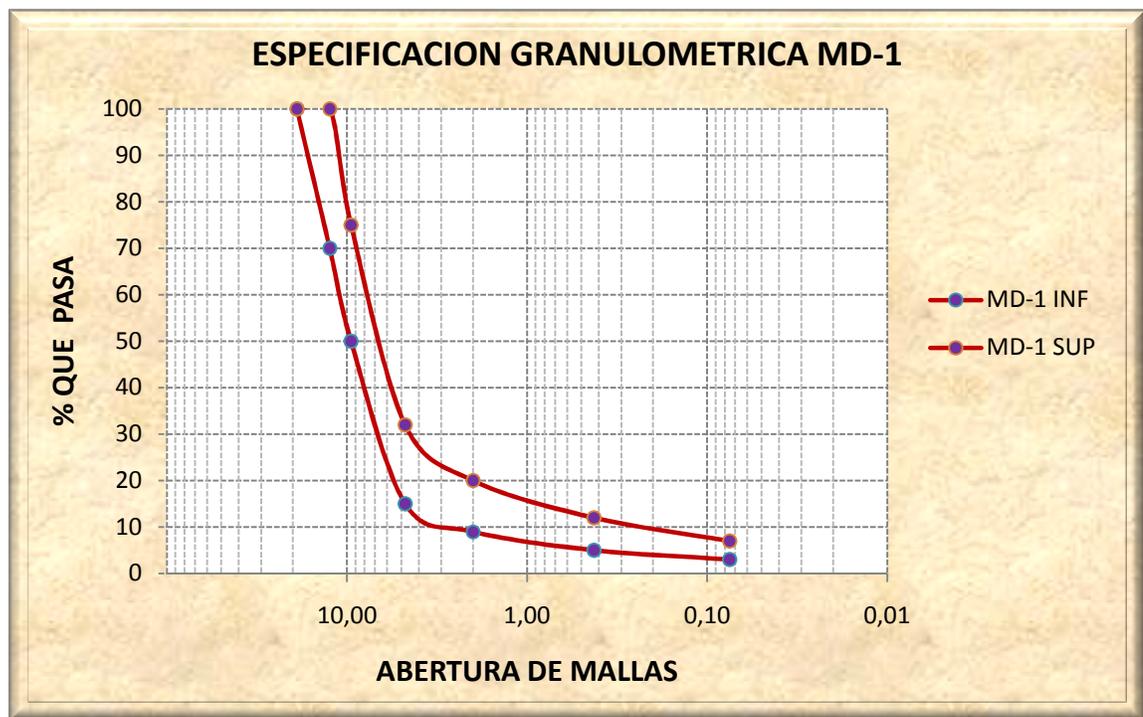
En el capítulo 3, específicamente en el apartado 3.2 se abordaron las recomendaciones hechas por la normativa colombiana (INVIAS) respecto a los agregados a utilizar en

mezclas drenantes, de donde se retomara la tabla 3.1 y figura 3.1, donde se observan los límites de la especificación granulométrica de dicha normativa a estas mezclas.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
mm	Pulgadas	MD-1
19	3/4"	100
12.5	1/2"	70 – 100
9.5	3/8"	50 – 75
4.75	N° 4	15 – 32
2	N° 10	9 – 20
0.425	N° 40	5 – 12
0.075	N° 200	3 – 7

Fuente: Tabla 453.1 Franja granulométrica para mezcla drenante, Artículo 453-07, normativa INVIAS

**TABLA 4.1 Especificación granulométrica para mezcla drenante**



**FIGURA 4.1 Gráfico de especificaciones.**

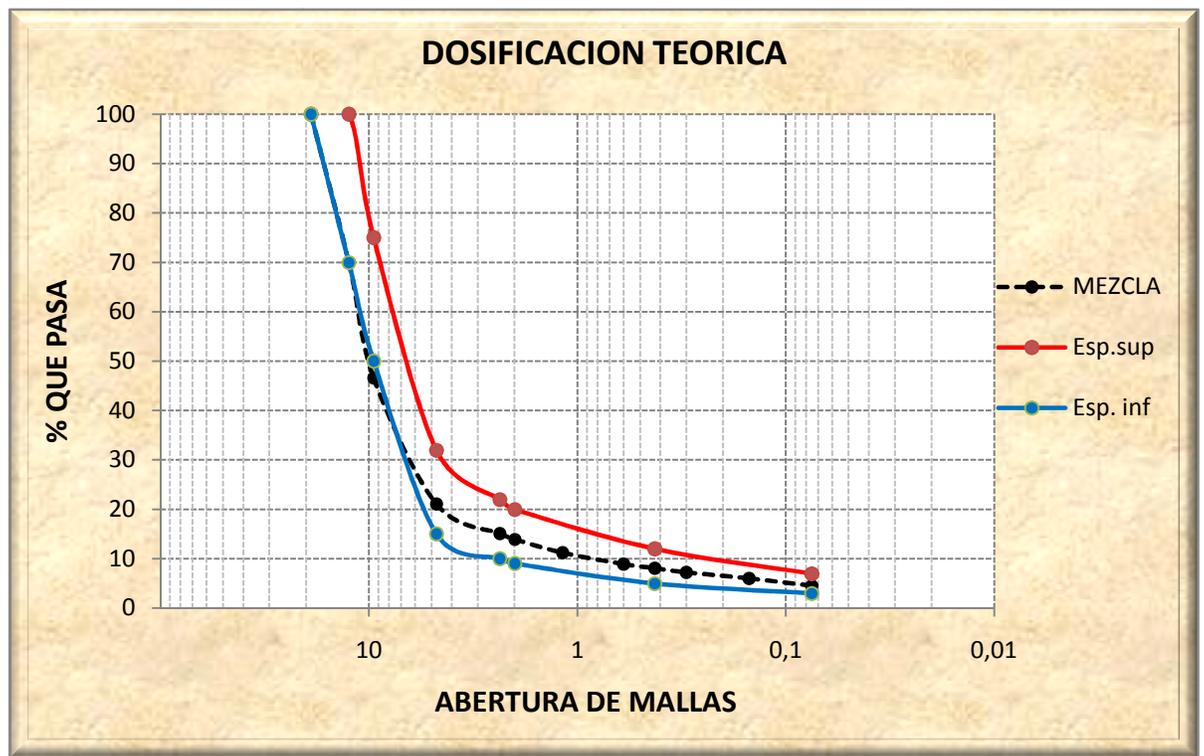
El objeto de la dosificación de agregados es ajustar la mezcla de manera que su gradación se ajuste a estas recomendaciones; para el diseño se han empleado tres fracciones diferentes de agregados, se ha utilizado grava con tamaño máximo de 3/4, arena y como sugiere la normativa INVIAS, se ha adicionado filler con el propósito de mejorar la adherencia en la mezcla, en la siguiente tabla se muestra la granulometría de las fracciones seleccionadas para el diseño de mezcla.

TAMIZ ASTM	% QUE PASA		
	GRAVA	ARENA	FILLER
1"	100	100	100
3/4"	100	100	100
1/2"	50	100	100
3/8"	22	100	100
No4	2	97	100
No8	1	67	100
No 10	1	61	100
No 16	1	44	100
No 30	1	29	100
No 40	1	24	100
No.50	0	19	100
No 100	0	12	95
No. 200	0,3	8,7	74,0

**TABLA 4.2 Granulometría de fracciones a utilizar**

Tanto el material grueso como el fino son producto de la trituración de roca; para la selección de estos materiales se llevo a cabo un proceso analítico de prueba y error, con la ayuda de una hoja de cálculo con diversos materiales de diversas canteras, inclusive se analizo el uso de arena natural procedente de rio, ya que la normativa lo contempla, sin

embargo fueron los resultados obtenidos con estos materiales los que presentaron un buen comportamiento debido a la gradación, en la siguiente grafica se observan los resultados obtenidos y los limites granulométricos de la especificación.



**FIGURA 4.2 Dosificación teórica**

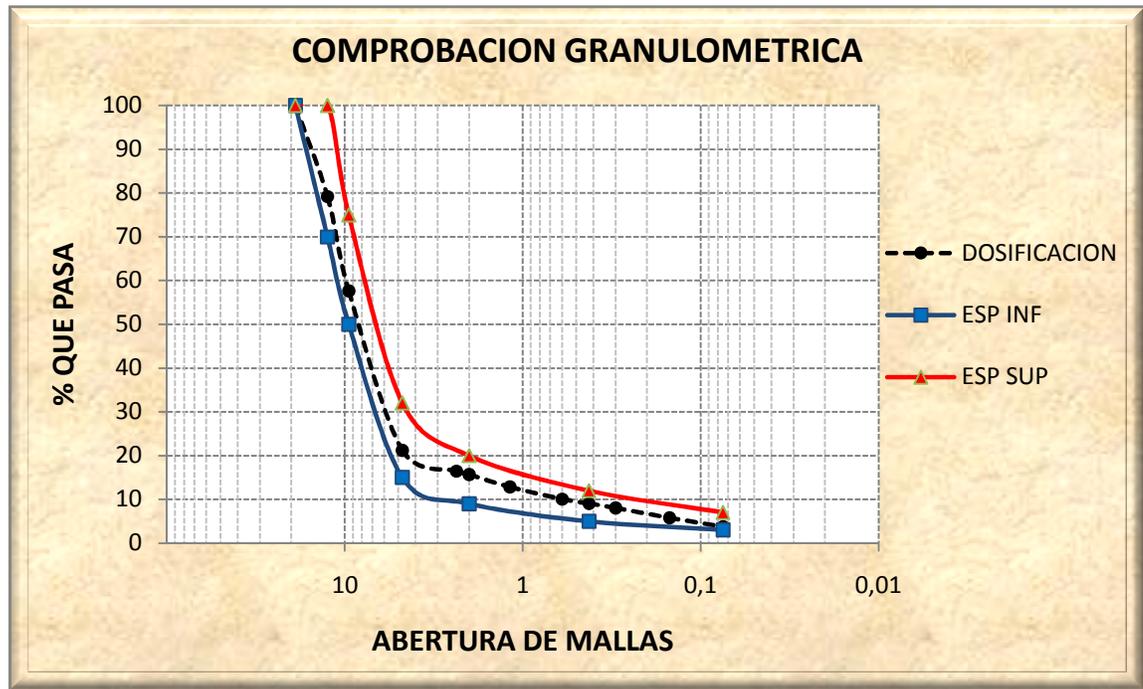
La dosificación seleccionada ha sido un 81% de material grueso (grava), 15% de arena y 4% de filler de los materiales antes dichos, en la siguiente tabla se muestra el análisis realizado para estos materiales.

TAMIZ ASTM	TAMIZ (mm)	GRAVA	ARENA	FILLER	MEZCLA DE AGREGADOS	DRENANTES COLOMBIA		MEDIA DE LA ESPECIFICACION	CUMPLE CON ESPECIFICACION
						ESP. INF	ESP. SUP		
1"	25	81	15	4	100				
3/4"	19	81	15	4	100	100	100	100	ok
1/2"	12,5	51	15	4	70	70	100	85	ok
3/8"	9,5	28	15	4	47	50	75	63	no cumple
No4	4,75	3	15	4	21	15	32	24	ok
No8	2,36	1	10	4	15	10	22	16	ok
No 10	2	1	9	4	14	9	20	15	ok
No 16	1,18	1	7	4	11			0	
No 30	0,6	1	4	4	9			0	
No 40	0,425	1	4	4	8	5	12	9	Ok
No.50	0,3	0	3	4	7			0	
No 100	0,15	0	2	4	6			0	
No. 200	0,075	0	1	3	5	3	7	5	Ok

<b>DOSIFICACION</b>	<b>81,00%</b>	<b>15,00%</b>	<b>4,00%</b>
---------------------	---------------	---------------	--------------

**TABLA 4.3 Dosificación teórica**

A pesar de que la mezcla obtenida se adapta a los límites de la especificación de buena manera, se observa que en el tamiz de 3/8 se produce una discordancia con los límites, sin embargo cabe aclarar que el procedimiento realizado hasta el momento, ha sido teórico, por lo que debe realizarse la revisión en laboratorio, para asegurar si realmente esto es verdad, o si el comportamiento de la curva es el mostrado anteriormente; los resultados obtenidos:



**FIGURA 4.3 Resultados de dosificación en laboratorio**

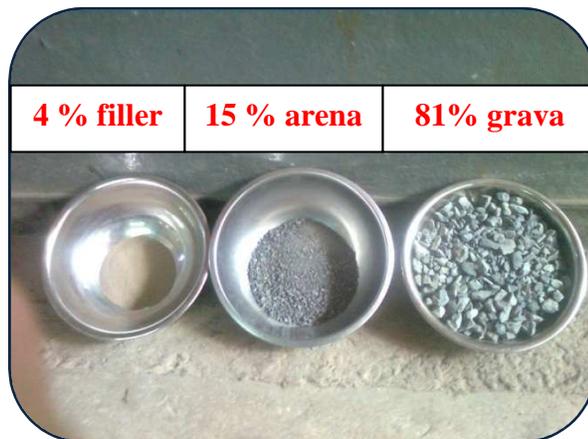
El procedimiento basado en las normas AASHTO T 27 y AASHTO T 11 fue el empleado para la revisión de la granulometría, ya que el material por ser producto de la trituración en planta de la roca, contenía polvo (pasa la malla N°200), haciendo necesario efectuar un tamizado por lavado.

MASA INICIAL (antes de lavado)	2100	MASA DESPUES DE LAVADO	2037,4	COMPROBACION GRANULOMETRICA EN LABORATORIO						
TAMIZ ASTM	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO		% QUE PASA	DRENANTES COLOMBIA		MEDIA DE LA ESPECIFICACION	CUMPLE CON ESPECIFICACION
				PARCIAL	ACUMULADO		ESP. INF	ESP. SUP		
3/4"	19	0,0	0	0,0	0,0	100	100	100	100	ok
1/2"	12,5	436,0	436,0	20,8	20,8	79	70	100	85	ok
3/8"	9,5	454,3	454,3	21,6	42,4	58	50	75	62,5	ok
No4	4,75	764,2	765,0	36,4	78,8	21	15	32	23,5	ok
No8	2,36	98,0	98,0	4,7	83,5	17				
No 10	2	17,9	17,9	0,9	84,3	16	9	20	14,5	ok
No 16	1,18	59,2	59,2	2,8	87,2	13				
No 30	0,6	57,2	57,2	2,7	89,9	10				
No 40	0,425	21,7	21,7	1,0	90,9	9	5	12	8,5	ok
No.50	0,3	22,1	22,1	1,1	92,0	8				
No 100	0,15	47,0	47,0	2,2	94,2	6				
No. 200	0,075	42,8	42,8	2,0	96,2	3,8	3	7	5	ok
pasa la N° 200		78,8	78,8	3,8	100,0	0				
<b>SUMATORIA</b>		2099,2	2100,00	100,00						

**TABLA 4.4 Resultados de dosificación en laboratorio**

El análisis granulométrico llevado a cabo en laboratorio, reflejo concordancias con el teórico y se obtuvo una curva dentro de los límites de la especificación y sensible a esta. A diferencia de las designaciones de graduación contempladas en la SIECA (que es la que rige el diseño de mezcla asfáltica en el país), donde se establecen las desviaciones permisibles de los rangos; la normativa INVIAS no lo hace, únicamente (como se estableció en el capítulo 3) destaca la importancia de que la curva granulométrica se adapte a la franja de la especificación sin cambios bruscos en su forma, esto con el objeto de prevenir segregaciones, garantizar los niveles de compactación y por ende alcanzar los niveles de resistencia exigidos por la normativa.

De acuerdo a los resultados se utilizara un proporcionamiento de 81% de agregado grueso, 15% de fino, y un 4% de filler.



Fuente: Fotografía tomada laboratorio control de calidad, plantel Multipav Guazapa

**FIGURA 4.4** Proporcionamiento de agregados

### **4.3.DISEÑO DE MEZCLA**

En lo que respecta al diseño de mezclas drenantes, la normativa INVIAS, en su apartado sobre mezclas drenantes, establece que este se realizara a partir de probetas cilíndricas del tipo Marshall elaboradas de acuerdo a los procedimientos establecidos en la misma, similar a la norma AASHTO con la diferencia en la masa de los agregados para cada probeta.

Para la selección del contenido óptimo de asfalto en la mezcla se establecen los siguientes 5 criterios:

1. Los vacíos con aire de la mezcla compactada, medidos de acuerdo al procedimiento establecido ASTM T 269, no deberán ser inferiores a veinte por ciento (20%), ni mayores de veinticinco por ciento (25 %).
2. Para asegurar que los vacíos con aire están debidamente interconectados, se realizará una prueba de permeabilidad. La capacidad de drenaje se medirá colocando cien mililitros (100 ml) de agua en un molde conteniendo la probeta prehumedecida. El tiempo que tarde el agua en atravesar la muestra no deberá exceder de quince segundos (15 s).
3. Las pérdidas por desgaste a veinticinco grados Celsius (25°C), determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma INV E-760, no deberán ser superiores a veinticinco por ciento (25 %).

4. La dosificación del material bituminoso no podrá ser inferior a cuatro y medio por ciento (4.5 %), respecto del peso seco de los agregados, incluido el llenante mineral.
  
5. Se deberá comprobar, además, la adhesividad entre el agregado y el ligante, caracterizando la mezcla en presencia de agua. Al efecto, la pérdida por abrasión en el ensayo Cántabro, según la norma de ensayo INV E-760, tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión en agua durante veinticuatro horas (24 h) a sesenta grados Celsius (60°C), no podrá exceder de cuarenta por ciento (40 %). Si se supera este valor, se deberá mejorar la adhesividad mediante un aditivo mejorador de adherencia apropiado.

Con lo anterior, se establece que los parámetros a evaluar son los siguientes:

- Vacíos en la mezcla
- Desgaste en la máquina de los ángeles (estado seco)
- Desgaste en la máquina de los ángeles (estado húmedo)
- Permeabilidad

Estos parámetros son los que han sido evaluados en la investigación, empleando la dosificación seleccionada al inicio de este capítulo (81% de grava, 15% de arena y 4% de filler).

### 4.3.1. ELABORACION DE BRIQUETAS

Antes de comenzar con la evaluación de criterios, será necesario hablar sobre la elaboración de briquetas, las cuales se hicieron bajo el procedimiento planteado en la norma AASHTO T 245 con la diferencia que la masa de agregados por briqueta debe ser de 1000g a diferencia de los 1,200g del método Marshall.

El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2½") de altura, preparadas como se describe en la norma.



Fuente: Fotografía tomada laboratorio control de calidad, plantel Multipav Guazapa

**FIGURA 4.5 Briquetas tipo Marshall de mezcla drenante.**

Se procedió en primer lugar a preparar los materiales con la dosificación de diseño

En un recipiente tarado se fueron pesando sucesivamente las cantidades de las fracciones de tal modo que la cantidad total de árido para cada briqueta fuera de 1000 g.



Fuente: Fotografía tomada laboratorio control de calidad, plantel Multipav Guazapa

**FIGURA 4.6** Peso de fracciones ya dosificadas.

Se colocó a continuación el recipiente al horno para calentar la dosificación de agregados a una temperatura de 190 °C.

Se colocó la cantidad de asfalto necesaria para la fabricación de las probetas en un recipiente y se llevó a una temperatura de 160 °C, esto de acuerdo a las propiedades del asfalto utilizado (Asfalto tipo III-D) cuya temperatura de mezclado y compactación a utilizar es de 160°C y 147°C respectivamente.



Fuente: <http://www.productospolimex.com>

**FIGURA 4.7 Horno electrico utilizado para calentar los materiales**

Se vertieron los agregados en el recipiente para el mezclado y se efectuó una mezcla de los mismos, se añadió por pesada la cantidad exacta de asfalto calculado para la mezcla. Manteniendo la temperatura de los materiales dentro de los límites especificados para su mezcla, se inicio el proceso de mezclado, y se continuó hasta que la mezcla se observara homogéneamente cubierta.



Fuente: Fotografía tomada laboratorio control de calidad, plantel Multipav Guazapa

**FIGURA 4.8 Proceso de Mezclado**

La compactación de las probetas se realizó empleando la máquina y el procedimiento de compactación descrito en la norma AASHTO T 245, sin embargo el numero de golpes fue establecido en base a la norma INV E 760 “CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE” de la normativa INVIAS, la que en su apartado 3.1.5, establece que el numero de golpes deberá de ser de 50 por cara (ver anexos).



Fuente: Fotografía tomada laboratorio control de calidad, plantel Multipav Guazapa

**FIGURA 4.9 Proceso de compactación a) Briquetas a compactar b) Compactación**

#### **4.3.2. VACIOS**

Para el cálculo de los vacios en la mezcla se ha utilizado AASHTO T 269 (ver anexos)

Se ha tomado el procedimiento descrito en esta norma para la evaluación de vacios de aire en las probetas para mezclas abiertas, donde se define a las mezclas abiertas como aquellas cuyo contenido de vacios son del 10% o más, que es el caso.

#### 4.3.2.1. Densidad Bulk

Se determinó la densidad bulk de 8 probetas, de una mezcla asfáltica compactada, a partir de su masa seca (en gr) y de su volumen (en cm<sup>3</sup>) y se promediaron los resultados.

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

Tal como establece el procedimiento, se midió la altura del espécimen con especial cuidado y precisión; así mismo, se midió su diámetro en cuatro sitios diferentes y se calculó su promedio.



Fuente: Fotografía tomada laboratorio control de calidad, plantel Multipav Guazapa

**FIGURA 4.10 Toma de mediciones a) Altura b) Diámetro**

Se calculo el volumen de la muestra de forma “geométrica” con base en la altura promedio y en la medida del diámetro, mediante la siguiente expresión para el cálculo de volumen de un cilindro.

$$V_{cilindro} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

Ya con el volumen fue posible estimar la densidad de la probeta para finalmente convertir la densidad bulk en gravedad específica bulk, dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> o 997.07 kg/m<sup>3</sup>, densidad del agua a 25°C (77°F).

A continuación se presentan las mediciones realizadas a cada una de las 8 probetas y su gravedad bulk, para cada contenido de asfalto y para efectos de demostración se desarrolla el cálculo de una briqueta.

### **EJEMPLO:**

#### **Contenido de asfalto 3%**

#### **Briqueta 1**

$$M = 996.9 \text{ g}$$

$$D_{promedio} = 10.170 \text{ cm}$$

$$h_{promedio} = 6.451 \text{ cm}$$

Calculando el volumen se tiene:

$$V_{cilindro} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi(10.170)^2(6.451)}{4}$$

$$V_{cilindro} = 524.0 \text{ cm}^3$$

Para la densidad

$$Densidad = \frac{996.9}{524.0}$$

$$Densidad = 1.902 \text{ g/cm}^3$$

Dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> (Densidad del agua a 25°C) para obtener gravedad específica Bulk (Geb)

$$Geb = \frac{1.902 \text{ g/cm}^3}{0.99707 \text{ g/cm}^3}$$

$$\mathbf{Geb = 1.908}$$

Y así sucesivamente se efectúa el cálculo de gravedad específica para las demás briquetas y se promedian los valores.

El cálculo debe de realizarse para cada contenido de asfalto. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada una de las briquetas analizadas y para cada uno de los contenidos de asfalto.

<b>PORCENTAJE DE ASFALTO: 3,0%</b>						
<b>BRIQUETA 1</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,170	h1	6,510	996,9	523,99	1,903
d2	10,175	h2	6,355	<b>Geb 1,908</b>		
d3	10,170	h3	6,467			
d4	10,165	h4	6,470			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,170</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,451</b>			
<b>BRIQUETA 2</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,170	h1	6,625	994	538,70	1,845
d2	10,150	h2	6,610	<b>Geb 1,851</b>		
d3	10,175	h3	6,580			
d4	10,180	h4	6,700			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,172</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,629</b>			
<b>BRIQUETA 3</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,190	h1	6,340	997,5	518,11	1,925
d2	10,200	h2	6,385	<b>Geb 1,931</b>		
d3	10,190	h3	6,370			
d4	10,170	h4	6,360			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,181</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,364</b>			
<b>BRIQUETA 4</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,180	h1	6,560	994,7	533,98	1,863
d2	10,190	h2	6,580	<b>Geb 1,868</b>		
d3	10,200	h3	6,540			
d4	10,180	h4	6,555			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,181</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,559</b>			

BRIQUETA 5						
DIAMETROS		ALTURAS		MASA	VOLUMEN	DENSIDAD
d1	10,200	h1	6,580	990,3	533,77	1,855
d2	10,190	h2	6,500	<b>Geb 1,861</b>		
d3	10,200	h3	6,500			
d4	10,200	h4	6,615			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,187</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,549</b>			
BRIQUETA 6						
DIAMETROS		ALTURAS		MASA	VOLUMEN	DENSIDAD
d1	10,170	h1	6,510	998,5	535,20	1,866
d2	10,170	h2	6,600	<b>Geb 1,871</b>		
d3	10,170	h3	6,640			
d4	10,165	h4	6,600			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,171</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,588</b>			
BRIQUETA 7						
DIAMETROS		ALTURAS		MASA	VOLUMEN	DENSIDAD
d1	10,170	h1	6,530	993,3	531,73	1,868
d2	10,200	h2	6,535	<b>Geb 1,874</b>		
d3	10,175	h3	6,560			
d4	10,170	h4	6,525			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,176</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,538</b>			
BRIQUETA 8						
DIAMETROS		ALTURAS		MASA	VOLUMEN	DENSIDAD
d1	10,170	h1	6,630	991,2	538,85	1,839
d2	10,150	h2	6,670	<b>Geb 1,845</b>		
d3	10,200	h3	6,620			
d4	10,155	h4	6,610			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,171</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,633</b>			
<b>PROMEDIO</b>				<b>1,876</b>		

TABLA 4.5 Resultados de laboratorio para densidad especifica Bulk , 3.0% de asfalto

<b>PORCENTAJE DE ASFALTO: 3,5%</b>						
<b>BRIQUETA 1</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,160	h1	6,420	996,8	523,50	1,904
d2	10,245	h2	6,390	<b>Geb 1,910</b>		
d3	10,190	h3	6,370			
d4	10,230	h4	6,415			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,206</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,399</b>			
<b>BRIQUETA 2</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,260	h1	6,400	998,3	528,95	1,887
d2	10,185	h2	6,555	<b>Geb 1,893</b>		
d3	10,185	h3	6,420			
d4	10,200	h4	6,480			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,208</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,464</b>			
<b>BRIQUETA 3</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,200	h1	6,500	994	529,37	1,878
d2	10,170	h2	6,510	<b>Geb 1,883</b>		
d3	10,170	h3	6,525			
d4	10,165	h4	6,500			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,176</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,509</b>			
<b>BRIQUETA 4</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,210	h1	6,440	996,4	531,36	1,875
d2	10,170	h2	6,735	<b>Geb 1,881</b>		
d3	10,200	h3	6,480			
d4	10,170	h4	6,420			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,188</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,519</b>			

<b>BRIQUETA 5</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,170	h1	6,720	998,6	542,97	1,839
d2	10,165	h2	6,670	<b>Geb 1,845</b>		
d3	10,180	h3	6,640			
d4	10,170	h4	6,700			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,171</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,683</b>			
<b>BRIQUETA 6</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,190	h1	6,500	992	529,85	1,872
d2	10,190	h2	6,500	<b>Geb 1,878</b>		
d3	10,170	h3	6,510			
d4	10,185	h4	6,510			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,184</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,505</b>			
<b>BRIQUETA 7</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,180	h1	6,500	997	531,94	1,874
d2	10,200	h2	6,545	<b>Geb 1,880</b>		
d3	10,175	h3	6,550			
d4	10,190	h4	6,515			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,186</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,528</b>			
<b>BRIQUETA 8</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,190	h1	6,330	998,9	519,08	1,924
d2	10,170	h2	6,380	<b>Geb 1,930</b>		
d3	10,165	h3	6,435			
d4	10,175	h4	6,390			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,175</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,384</b>			
<b>PROMEDIO</b>				<b>1,887</b>		

**TABLA 4.6 Resultados de laboratorio para densidad específica Bulk, 3.5% de asfalto**

<b>PORCENTAJE DE ASFALTO: 4,0%</b>						
<b>BRIQUETA A</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,225	h1	6,430	994,9	527,19	1,887
d2	10,175	h2	6,520	<b>Geb 1,893</b>		
d3	10,210	h3	6,470			
d4	10,160	h4	6,425			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,193</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,461</b>			
<b>BRIQUETA B</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,165	h1	6,490	994,3	536,37	1,854
d2	10,200	h2	6,600	<b>Geb 1,859</b>		
d3	10,210	h3	6,590			
d4	10,230	h4	6,570			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,201</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,563</b>			
<b>BRIQUETA C</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,220	h1	6,445	994	530,93	1,872
d2	10,220	h2	6,475	<b>Geb 1,878</b>		
d3	10,180	h3	6,450			
d4	10,180	h4	6,620			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,200</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,498</b>			
<b>BRIQUETA D</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,160	h1	6,390	999,8	519,46	1,925
d2	10,180	h2	6,335	<b>Geb 1,930</b>		
d3	10,175	h3	6,370			
d4	10,220	h4	6,415			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,184</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,378</b>			

<b>BRIQUETA E</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,155	h1	6,460	996,0	533,26	1,868
d2	10,160	h2	6,635	<b>Geb 1,873</b>		
d3	10,170	h3	6,620			
d4	10,190	h4	6,550			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,169</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,566</b>			
<b>BRIQUETA F</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,220	h1	6,500	994,4	538,34	1,847
d2	10,220	h2	6,575	<b>Geb 1,853</b>		
d3	10,150	h3	6,650			
d4	10,220	h4	6,615			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,203</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,585</b>			
<b>BRIQUETA G</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,170	h1	6,635	1003,7	537,58	1,867
d2	10,270	h2	6,565	<b>Geb 0,000</b>		
d3	10,200	h3	6,570			
d4	10,180	h4	6,520			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,205</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,573</b>			
<b>PROMEDIO</b>				<b>1,880</b>		

**TABLA 4.7 Resultados de laboratorio para densidad especifica Bulk, 4.0% de asfalto**

<b>PORCENTAJE DE ASFALTO 4,5%</b>						
<b>BRIQUETA A</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,190	h1	6,300	997,2	514,83	1,937
d2	10,195	h2	6,290	<b>Geb 1,943</b>		
d3	10,190	h3	6,285			
d4	10,190	h4	6,370			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,191</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,311</b>			
<b>BRIQUETA B</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,185	h1	6,410	998,6	523,02	1,909
d2	10,190	h2	6,420	<b>Geb 1,915</b>		
d3	10,210	h3	6,390			
d4	10,245	h4	6,345			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,208</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,391</b>			
<b>BRIQUETA C</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,170	h1	6,440	998,7	525,84	1,899
d2	10,195	h2	6,480	<b>Geb 1,905</b>		
d3	10,190	h3	6,465			
d4	10,155	h4	6,470			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,178</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,464</b>			
<b>BRIQUETA D</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,180	h1	6,375	997,1	521,88	1,911
d2	10,170	h2	6,410	<b>Geb 1,916</b>		
d3	10,210	h3	6,430			
d4	10,170	h4	6,420			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,183</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,409</b>			

<b>BRIQUETA E</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,170	h1	6,395	998,0	501,38	1,991
d2	10,190	h2	6,470	<b>Geb 1,996</b>		
d3	10,200	h3	6,380			
d4	10,160	h4	5,395			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,180</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,160</b>			
<b>BRIQUETA F</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,170	h1	6,510	999,4	528,83	1,890
d2	10,180	h2	6,480	<b>Geb 1,895</b>		
d3	10,220	h3	6,470			
d4	10,220	h4	6,440			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,198</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,475</b>			
<b>BRIQUETA G</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,210	h1	6,360	995,6	520,46	1,913
d2	10,220	h2	6,345	<b>Geb 1,919</b>		
d3	10,200	h3	6,310			
d4	10,220	h4	6,400			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,213</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,354</b>			
<b>BRIQUETA H</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,170	h1	6,440	994,6	517,76	1,921
d2	10,190	h2	6,320	<b>Geb 1,927</b>		
d3	10,170	h3	6,400			
d4	10,170	h4	6,310			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,175</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,368</b>			
<b>PROMEDIO</b>				<b>1,927</b>		

**TABLA 4.8 Resultados de laboratorio para densidad especifica Bulk, 4.5% de asfalto**

<b>PORCENTAJE DE ASFALTO 5,0%</b>						
<b>BRIQUETA 1</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,210	h1	6,240	994,1	508,86	1,954
d2	10,190	h2	6,250	<b>Geb 1,959</b>		
d3	10,185	h3	6,250			
d4	10,190	h4	6,200			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,194</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,235</b>			
<b>BRIQUETA 2</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,220	h1	6,235	995,8	513,57	1,939
d2	10,180	h2	6,225	<b>Geb 1,945</b>		
d3	10,200	h3	6,330			
d4	10,200	h4	6,350			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,200</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,285</b>			
<b>BRIQUETA 3</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,150	h1	6,250	993	505,52	1,964
d2	10,170	h2	6,220	<b>Geb 1,970</b>		
d3	10,180	h3	6,200			
d4	10,190	h4	6,210			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,173</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,220</b>			
<b>BRIQUETA 4</b>						
<b>DIAMETROS</b>		<b>ALTURAS</b>		<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>DENSIDAD</b>
d1	10,155	h1	6,370	994	514,59	1,932
d2	10,160	h2	6,300	<b>Geb 1,937</b>		
d3	10,165	h3	6,390			
d4	10,175	h4	6,310			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,164</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,343</b>			

BRIQUETA 5						
DIAMETROS		ALTURAS		MASA	VOLUMEN	DENSIDAD
d1	10,190	h1	6,320	995,3	514,69	1,934
d2	10,155	h2	6,270	<b>Geb 1,939</b>		
d3	10,170	h3	6,370			
d4	10,160	h4	6,390			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,169</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,338</b>			
BRIQUETA 6						
DIAMETROS		ALTURAS		MASA	VOLUMEN	DENSIDAD
d1	10,230	h1	6,220	996,5	511,23	1,949
d2	10,210	h2	6,250	<b>Geb 1,955</b>		
d3	10,210	h3	6,230			
d4	10,220	h4	6,240			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,218</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,235</b>			
BRIQUETA 7						
DIAMETROS		ALTURAS		MASA	VOLUMEN	DENSIDAD
d1	10,200	h1	6,390	998,8	519,23	1,924
d2	10,170	h2	6,400	<b>Geb 1,929</b>		
d3	10,160	h3	6,350			
d4	10,180	h4	6,390			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,178</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,383</b>			
BRIQUETA 8						
DIAMETROS		ALTURAS		MASA	VOLUMEN	DENSIDAD
d1	10,160	h1	6,420	995,8	520,25	1,914
d2	10,170	h2	6,410	<b>Geb 1,920</b>		
d3	10,220	h3	6,400			
d4	10,160	h4	6,350			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10,178</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,395</b>			
<b>PROMEDIO</b>				<b>1,944</b>		

TABLA 4.9 Resultados de laboratorio para densidad especifica Bulk, 5.0% de asfalto

#### 4.3.2.2. Gravedad Específica Máxima Teórica

Se determinó la gravedad específica máxima teórica en base a la norma ASTM D 2041, sobre una mezcla asfáltica comparable, para evitar la influencia de diferencias en la granulometría, contenido de asfalto, etc.

Se presentan los resultados obtenidos para cada contenido de asfalto y se proporciona una guía de cálculo para determinar la gravedad específica, en la segunda columna de las siguientes tablas.

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS</b>		
<b>ASTM D 2041</b>		
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO 3.0%</b>		
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	D	11745
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	E	13216
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1029
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA</b>	<b><math>G_{em} = A / (A(SSS))</math></b>	<b>2.430</b>

**TABLA 4.10 Resultados de laboratorio para densidad específica máxima teórica, 3.0% de asfalto**

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS</b>		
<b>ASTM D 2041</b>		
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO 3,5 %</b>		
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	D	11745
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	E	13214
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1031
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA</b>	<b><math>G_{em} = A/(A(SSS))</math></b>	<b>2,425</b>

**TABLA 4.11 Resultados de laboratorio para densidad específica máxima teórica, 3.5% de asfalto**

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS</b>		
<b>ASTM D 2041</b>		
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO 4,0 %</b>		
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	D	11745
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	E	13200
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1045
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA</b>	<b><math>G_{em} = A/(A(SSS))</math></b>	<b>2.392</b>

**TABLA 4.12 Resultados de laboratorio para densidad especifica maxima teorica, 4.0% de asfalto**

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS</b>		
<b>ASTM D 2041</b>		
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO 4,5 %</b>		
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	D	11745
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	E	13206
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1039
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA</b>	<b><math>G_{em} = A/(A(SSS))</math></b>	<b>2.406</b>

**TABLA 4.13 Resultados de laboratorio para densidad específica máxima teórica, 4.5% de asfalto**

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS</b>		
<b>ASTM D 2041</b>		
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO 5,0 %</b>		
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	D	11745
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA	E	13197
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1048
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA</b>	<b><math>G_{em} = A/(A(SSS))</math></b>	<b>2.385</b>

**TABLA 4.14 Resultados de laboratorio para densidad específica máxima teórica, 5.0% de asfalto**

#### 4.3.2.3. Cálculo de vacíos

Con los resultados anteriores en los que se calculó la gravedad específica Bulk y la gravedad específica máxima teórica se determina el contenido de vacíos para cada contenido de asfalto con la siguiente ecuación:

$$vacios = \frac{Gem - Geb}{Gem} \times 100$$

Donde:

Gem = Gravedad específica máxima teórica

Geb = Gravedad específica Bulk (Valor promedio).

#### **EJEMPLO:**

Para el contenido de asfalto de 3% se tienen los siguientes resultados:

Gem = 1.876 (valor promedio de las 8 briquetas)

Geb = 2.430

Sustituyendo en la ecuación de vacios se tiene:

$$vacios = \frac{2.430 - 1.876}{2.430} \times 100$$

$$vacios = 22.8\%$$

El cálculo se repite para los otros contenidos de asfalto; la siguiente tabla contiene los resultados obtenidos:

<b>% ASFALTO</b>	<b>VACIOS</b>
3,0	22,8
3,5	22,2
4,0	21,4
4,5	19,9
5,0	18,5

**TABLA 4.15 Vacíos calculados.**

### **4.3.3. DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (SECO)**

El ensayo de desgaste conocido también como ensayo cántabro, permite valorar indirectamente la cohesión, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito, ensayo desarrollado en España y retomado por diversos países como Colombia que en su normativa ha sido adaptada; esta ensayo no tiene equivalencia con las normas ASTM y AASHTO por lo que para su evaluación se utilizó la adaptación colombiana, la norma INV E 760 “CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE” (ver anexos).

Se prepararon cuatro probetas para cada contenido de asfalto y el ensayo se realizó procurando que la temperatura de ensayo estuviera comprendida entre 15° y 30° C, con una tolerancia máxima de  $\pm 1^\circ$  C como recomendación de la norma.

Luego se determinó la masa de cada probeta con aproximación de 0.1 g.



Fuente: Fotografía tomada laboratorio de suelos y materiales, Esc. De Ing Civil.

**FIGURA 4.11 Toma del peso de la briqueta antes del ensayo**

Se introdujo a continuación una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles y, sin la carga abrasiva de las bolas, se hizo girar el tambor a la misma velocidad normalizada de 3.1 a 3.5 rad/s (30 a 33 rpm) del ensayo de desgaste de agregados, pero durante 300 vueltas.



Fuente: Fotografía tomada laboratorio de suelos y materiales, Esc. De Ing Civil.

**FIGURA 4.12 Máquina de los Angeles empleada en ensayo Cantabro**

Al final del ensayo, se saco la probeta y se determino de nuevo su masa con la misma aproximación de 0.1 g.



Fuente: Fotografía tomada laboratorio de suelos y materiales, Esc. De Ing Civil.

**FIGURA 4.13 Toma del peso de la briqueta despues del ensayo a) Briquetas despues del ensayo b) Determinación del peso despues del ensayo**

Se calculó el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la expresión:

$$P = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

Donde:

P = valor de la pérdida por desgaste, en %,

$W_1$  = masa inicial de la probeta, en gramos.

$W_2$  = masa final de la probeta, en gramos.

Y por ultimo se calculo el valor medio de las 4 probetas ensayadas, esto para cada contenido de asfalto.

**EJEMPLO:**

**Contenido de asfalto 3%**

**Briqueta A**

$$W_1 = 997.1$$

$$W_2 = 671.8$$

Evaluando la pérdida se tiene:

$$P = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

$$P = \frac{997.1 - 671.8}{997.1} \times 100$$

$$P = 32.6 \%$$

De igual forma se repite el cálculo para las otras tres briquetas y se promedia el valor para obtener la pérdida por desgaste promedio; los resultados a continuación.

CONTENIDO DE ASFALTO 3.0%						
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES (gr)	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
A	28	27	997,1	671,8	32,6	41,9
B	29	29	991,3	483,7	51,2	
C	29	29	996,6	736,4	41,9	
D	29	29	990,1	575,8	41,8	
CONTENIDO DE ASFALTO 3.5%						
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES (gr)	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
A	27	27	998,5	729,8	26,9	31,2
B	27,5	28	999,2	640,4	35,9	
C	28	28	995,2	711,2	28,5	
D	28	28	997,4	663,6	33,5	
CONTENIDO DE ASFALTO 4.0%						
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES (gr)	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
A	28	28	996,1	699,3	29,8	25,8
B	28	28	994,0	744,1	25,1	
C	28	28	993,9	718,8	27,7	
D	28	28	999,7	792,3	20,7	
CONTENIDO DE ASFALTO 4.5%						
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES (gr)	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
A	24	25	997,9	811,6	18,7	22,8
B	25	25	998,6	773,9	22,5	
C	25	25	997,6	724,3	27,4	
D	24	24	998,8	772,8	22,6	

CONTENIDO DE ASFALTO 5.0%						
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES (gr)	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
A	26,5	26	989,3	861,3	12,9	15,2
B	26	26,5	994,2	816,6	17,9	
C	26,5	26,5	994,8	845,2	15,0	
D	26,5	27	996,8	846,6	15,1	

**TABLA 4.16 Resultados de laboratorio para Ensayo Cantabro en estado seco**

#### 4.3.4. DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (HUMEDO)

El ensayo de desgaste en estado húmedo se realiza de igual forma que el descrito anteriormente, igual número de briquetas y condiciones para el ensayo, con la diferencia que estas han permanecido sumergidas en agua a 60 °C por un periodo de 24 horas, los cálculos se realizaron de igual forma que en el estado seco.

CONTENIDO DE ASFALTO 3.0%							
PROBETA	MASA ANTES DE BAÑO MARIA (gr)	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES (gr)	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
		INICIO	FINAL				
A	994,4	25	25	1008,3	443,1	56,1	60,4
B	998,9	25	25	1013,4	300,4	70,4	
C	990,4	26	26	1004,3	392,5	60,9	
D	993,5	26	26	1008,0	461,2	54,2	

CONTENIDO DE ASFALTO 3.5%							
PROBETA	MASA ANTES DE BAÑO MARIA (gr)	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES (gr)	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
		INICIO	FINAL				
A	997,2	26	25,5	1012,7	441,9	56,4	48,1
B	991,6	25,5	25,5	1009,3	458,4	54,6	
C	995,9	25,5	26	1011,9	543,2	46,3	
D	999,9	26	25	1016,5	660,0	35,1	
CONTENIDO DE ASFALTO 4.0%							
PROBETA	MASA ANTES DE BAÑO MARIA (gr)	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES (gr)	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
		INICIO	FINAL				
A	985,0	26	26	992,3	615,9	37,9	42,9
B	995,4	26	27	1007,3	534,2	47,0	
C	993,6	27	27	1016,5	786,6	42,9	
D	1010,5	26	25	1015,8	569,5	43,9	
CONTENIDO DE ASFALTO 4.5%							
PROBETA	MASA ANTES DE BAÑO MARIA (gr)	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES (gr)	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
		INICIO	FINAL				
A	998,4	25	26	1013,8	709,6	30,0	28,7
B	997,4	26	25	1002,0	740,6	26,1	
C	995,9	25	25	1010,6	730,4	27,7	
D	993,5	25	25,5	1007,7	696,0	30,9	
CONTENIDO DE ASFALTO 5.0%							
PROBETA	MASA ANTES DE BAÑO MARIA (gr)	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES (gr)	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
		INICIO	FINAL				
A	992,0	25	25	1001,6	875,0	12,6	14,6
B	994,2	25	25	1007,8	859,4	14,7	
C	995,9	25	26	1013,2	846,4	16,5	
D	996,0	26	26	1011,3	865,5	14,4	

**TABLA 4.17 Resultados de laboratorio para Ensayo Cántabro en estado Húmedo**

#### 4.3.5. PERMEABILIDAD

Los estudios españoles desarrollaron el permeámetro L.C.S. para la evaluación de este parámetro, sin embargo en la normativa colombiana INVIAS, se contempla la evaluación de la permeabilidad como un ensayo complementario, lo utilizan para la verificación, de que los vacíos de aire contenido en la mezcla, realmente se encuentren interconectados.

En las INVIAS no existe una norma para esta prueba, solo establece que se debe verter 100 ml de agua sobre la probeta pre-humedecida y medir el tiempo que esta tarda en atravesar la probeta, sin que este tiempo sea mayor de 15 s, sin embargo para establecer condiciones semejantes entre cada prueba, en esta prueba las briquetas se mantuvieron sumergidas por un tiempo de 4 minutos.



Fuente: Fotografía tomada laboratorio de suelos y materiales, Esc. De Ing Civil.

**FIGURA 4.14 “Prueba” de permeabilidad, de acuerdo a criterios de normativa INVIAS**

La prueba se hizo sobre las briquetas aun contenidas en los moldes Marshall donde fueron compactadas, las cuales antes de la realización fueron sumergidas en agua por un periodo de 4 min, y dejadas reposar hasta dejar de observar en la cara inferior escurrimiento del agua retenida en la briqueta, luego se vertieron 15 ml de agua sobre la misma y se tomo el tiempo en que tardo en atravesar el agua, la briqueta.

<b>% DE ASFALTO</b>	<b>TEMPERATURA DEL AGUA (C)</b>	<b>TIEMPO DE EVACUACION (s)</b>
3	25	5,1
3,5	25	6,2
4	25.5	7,81
4,5	26	10,27
5	25.5	16,24

**TABLA 4.18 Resultados de prueba de permeabilidad**

#### **4.4.RESUMEN Y ANALISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO**

Una vez se han obtenido los resultados de laboratorio es necesario realizar el respectivo análisis de ellos; es fácil de deducir el comportamiento que deberían de presentar los resultados por simple análisis lógico, lo que en el caso puede servir en primera instancia para valorar la calidad de resultados obtenidos.

En el caso de los vacios es lógico pensar que entre más asfalto tenga la mezcla, pues menor será el contenido de vacios, o en el ensayo cántabro donde el desgaste se ve condicionado al contenido de asfalto que la mezcla pueda contener, ya que es el asfalto el que proporciona estabilidad a la mezcla, y al igual que con los vacios se puede esperar

que entre más asfalto contenga la mezcla, menos desgaste presente esta (más estable) y por último, la permeabilidad, que de igual forma se debe de esperar que entre mayor sea el contenido de asfalto menor sea la permeabilidad, como ejemplo podemos citar que en el desarrollo de esta investigación se intento adaptar el ensayo de permeabilidad de suelos para poder evaluar este parámetro, sin embargo los resultados obtenidos mostrando una tendencia contraria a lo esperado por lo que se concluyo que debía de realizarse una mejor adaptación del ensayo ya que pudieron existir condiciones en este, que no permitieron la correcta evaluación de la permeabilidad en la mezcla.

En la siguiente tabla se resume de manera puntual, los valores necesarios para la obtención del contenido óptimo de asfalto.

Contenido de Asfalto	% Vacíos	% de Desgaste (Cantabro Seco)	% de Desgaste (Cantabro Humedo)	Permeabilidad (seg)
3,0%	22,8	41,9	60,4	5,1
3,5%	22,2	31,2	48,1	6,2
4,0%	21,4	25,8	42,9	7,81
4,5%	19,9	22,8	28,7	10,27
5,0%	18,5	15,2	14,6	16,24

**TABLA 4.19** Tabla resumen de ensayos

Al observar los resultados obtenidos, efectivamente se observa el comportamiento que se esperaba para los diferentes parámetros de diseño.

#### 4.4.1. DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO

Los criterios de diseño vistos en la sección 4.3 de este capítulo, se resumen en la siguiente tabla:

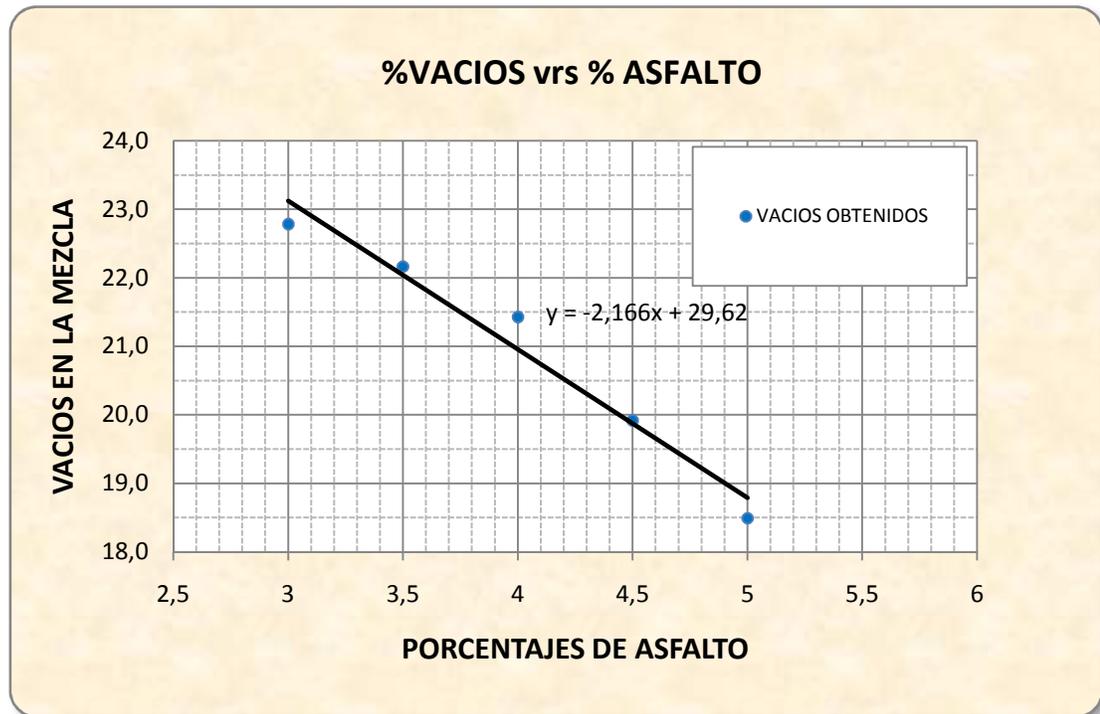
Vacios	20% < vacíos < 25%
Permeabilidad	100 ml en 15 s
Perdida del Cántabro Seco	< 25 %
Contenido de Asfalto	≥ 4,5 %
Perdida del Cántabro Húmedo	< 40 %

**TABLA 4.20 Criterios de diseño**

El método de diseño para mezclas drenantes es sencillo, consiste en seleccionar el contenido de asfalto para el cual se cumple con las exigencias establecidas y ese será el contenido óptimo.

##### **Primer análisis**

Con la tabla resumen se pueden elaborar los gráficos de los distintos criterios (vacíos, desgaste en seco, desgaste en húmedo, permeabilidad) contra el contenido de asfalto.



**FIGURA 4.15 % vacios vrs % de asfalto**

Utilizando la ecuación de la línea de tendencia,  $y = -2.166x + 29.62$  la cual se obtuvo con la ayuda de una hoja de cálculo, es posible reordenarla de la manera siguiente:

$$x = (y - 29.62) / (-2.166)$$

En donde:

x = representa el contenido de asfalto

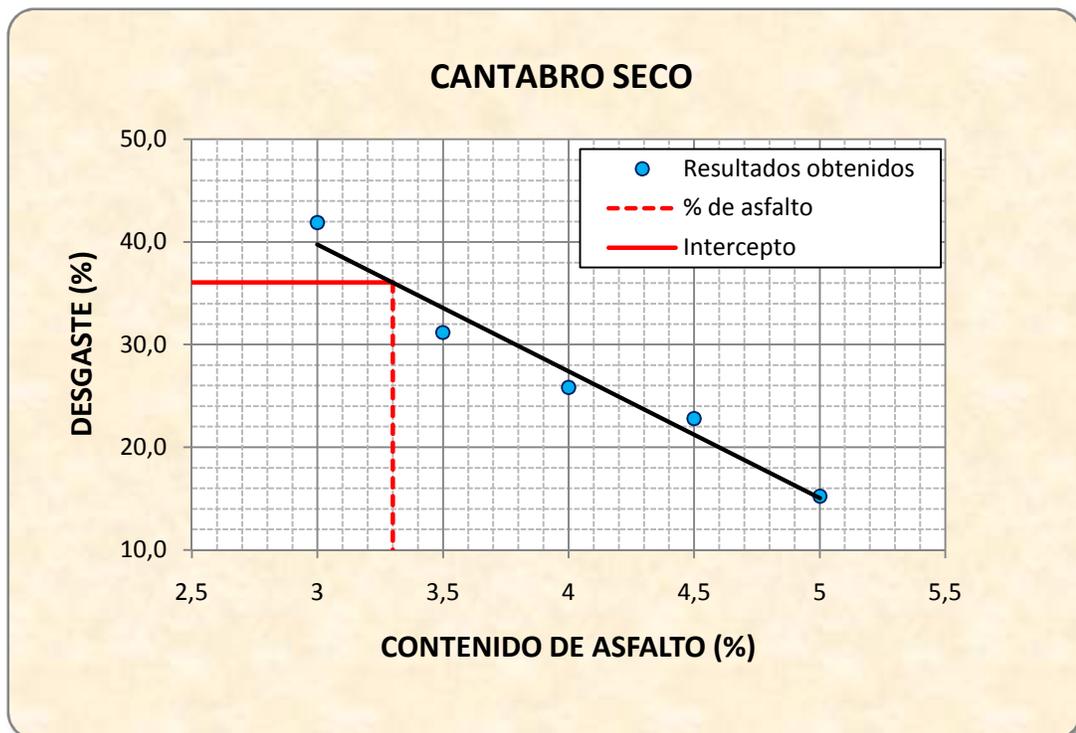
y = representa los vacios en la mezcla

Si sustituimos en la ecuación por los valores límites de vacios que perseguimos en el diseño, ósea  $y_1 = 20\%$  y  $y_2 = 25\%$  se obtienen el rango entre el que debemos fijar nuestro contenido de asfalto para obtener los vacios requeridos.

Para  $y_1 = 20\%$  se tiene que  $x_1 = 4,4\%$

Para  $y_1=25\%$  se tiene que  $x_1=2,13\%$

Se observa que para obtener el 25% de vacios en nuestro diseño, el contenido de asfalto debe de ser muy pequeño, de hecho si utilizáramos el valor promedio entre ellos (3,3%) como nuestro contenido optimo de asfalto, con el fin de garantizar que los vacios alcancen el 22.5% (promedio de los limites 20% y 25% ) se obtendría lo siguiente:



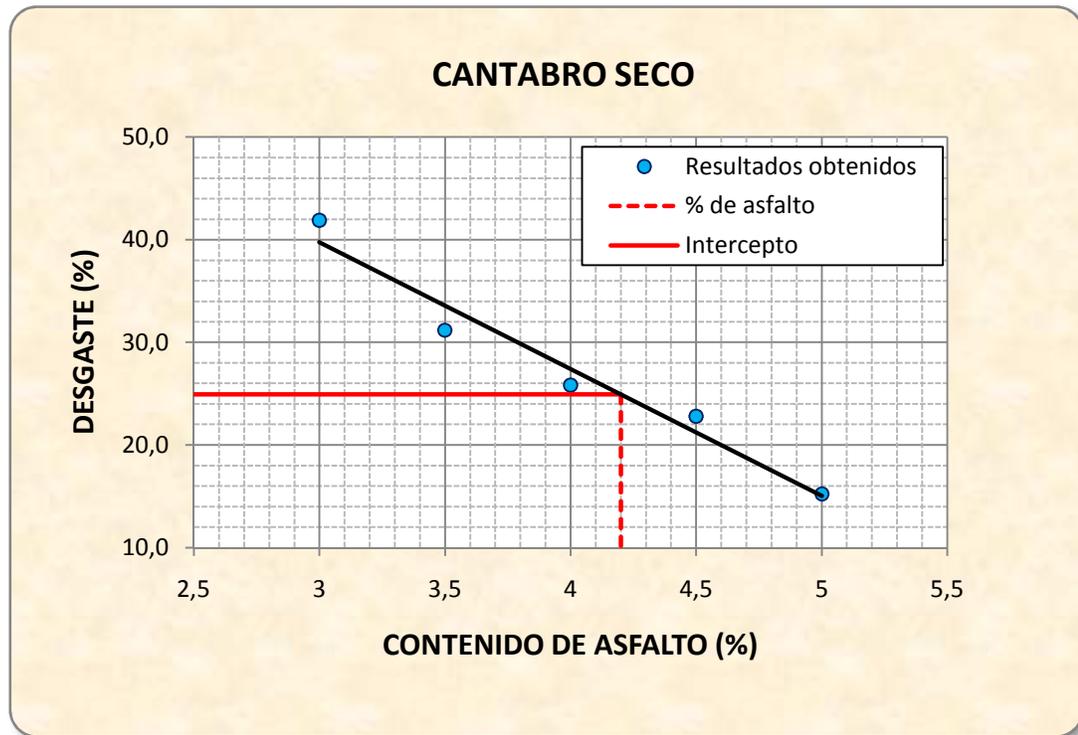
**FIGURA 4.16 % Desgaste cantabro seco vrs % de asfalto**

Al interceptar en el grafico del ensayo cántabro en condición seco, el 3.3% necesario para alcanzar 22.5% de vacios, con el eje vertical como se muestra en la grafica, se obtiene un desgaste del 36.1% muy por arriba del permitido por la norma (25%).

En conclusión, es evidente que el contenido de asfalto requerido para cumplir con el desgaste debe de ser mucho mayor al ideal obtenido en el caso planteado, de hecho no hay que olvidar que dentro de los criterios establecidos por la normativa INVIAS, base de esta investigación; se encuentra que el contenido de asfalto no debe de ser menor al 4.5%, ya que de acuerdo a esta normativa, es con este contenido de asfalto con el que se puede garantizar una adecuada envoltura de agregados y elevada película de grosor que proteja las partículas de la mezcla, punto clave para la a durabilidad, de hecho, en el desarrollo de las pruebas de laboratorio, se observo que para contenidos de 3% y 3.5%, el asfalto no parecía ser suficiente como para garantizar la envoltura de los mismos.

### **Segundo análisis**

Se podría establecer cuál es el contenido de asfalto necesario para cumplir con el 25% de desgaste en el cántabro seco y luego corroborar los vacíos con el contenido seleccionado a partir de ese análisis.



**FIGURA 4.17 % desgaste cantabro seco vrs % de asfalto (Retomado)**

Aproximadamente el contenido de vacíos para obtener un 25% de desgaste es de 4.2%, sin embargo es preferible que el contenido sea más alto ya que este es el límite, en tal caso bastaría con elegir un 4.3%, pero este seguiría siendo aun menor que el mínimo recomendado de 4.5% por lo que se utilizara 4.5% y se evaluarán los demás parámetros.

## Vacios

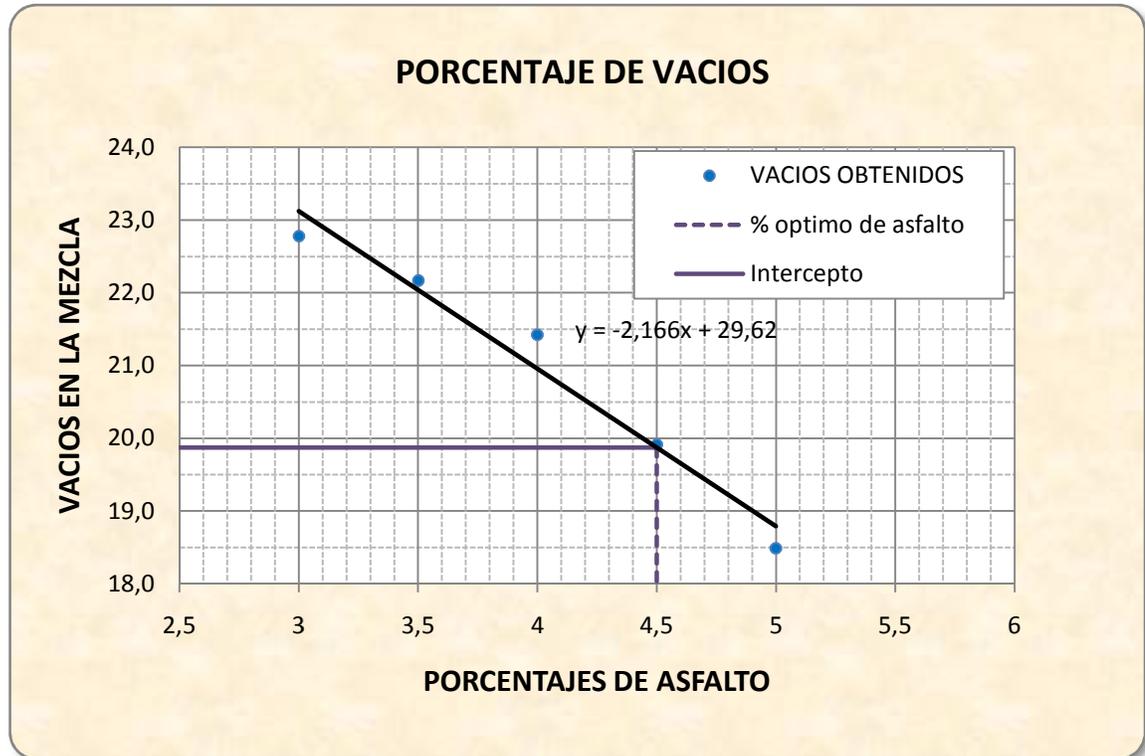
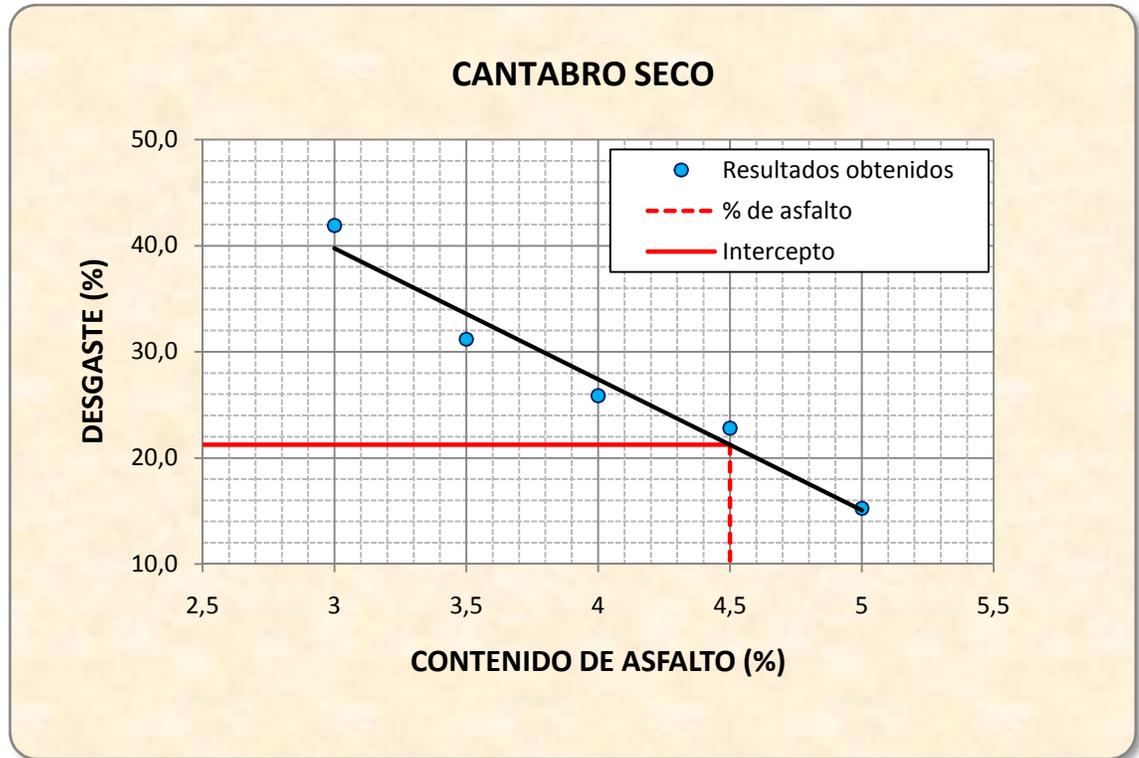


FIGURA 4.18 % vacios vrs % de asfalto (Retomado)

Se obtiene un contenido de vacios del 19.9% aproximadamente de 20%

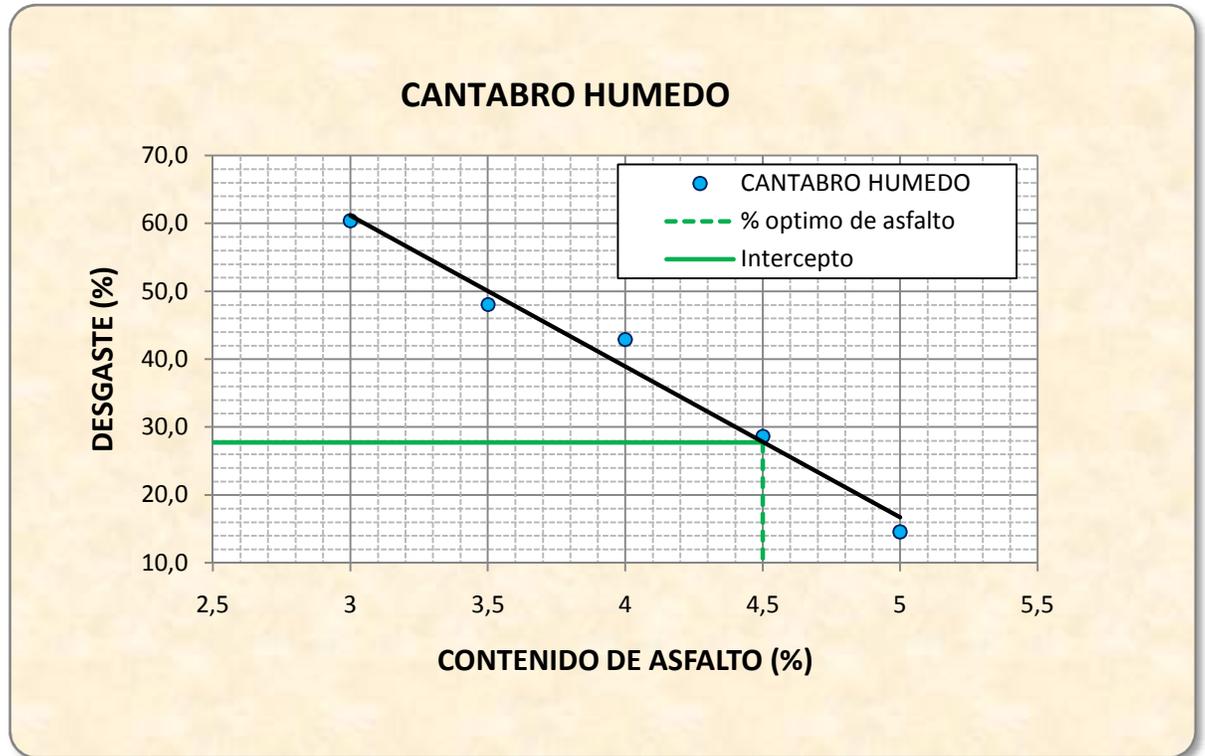
## Cántabro seco



**FIGURA 4.19 % desgaste cantabro seco vrs % de asfalto (Retomado).**

El porcentaje de desgaste obtenido es de 21.3% abajo del 25% permitido para el ensayo Cántabro seco.

## Cántabro húmedo



**FIGURA 4.20 % desgaste cantabro húmedo vrs % de asfalto**

El desgaste es de 27.8%, lo que indica que la adhesión que existe entre el asfalto y agregados es buena y no requiere de algún aditivo para mejorarla.

## Permeabilidad

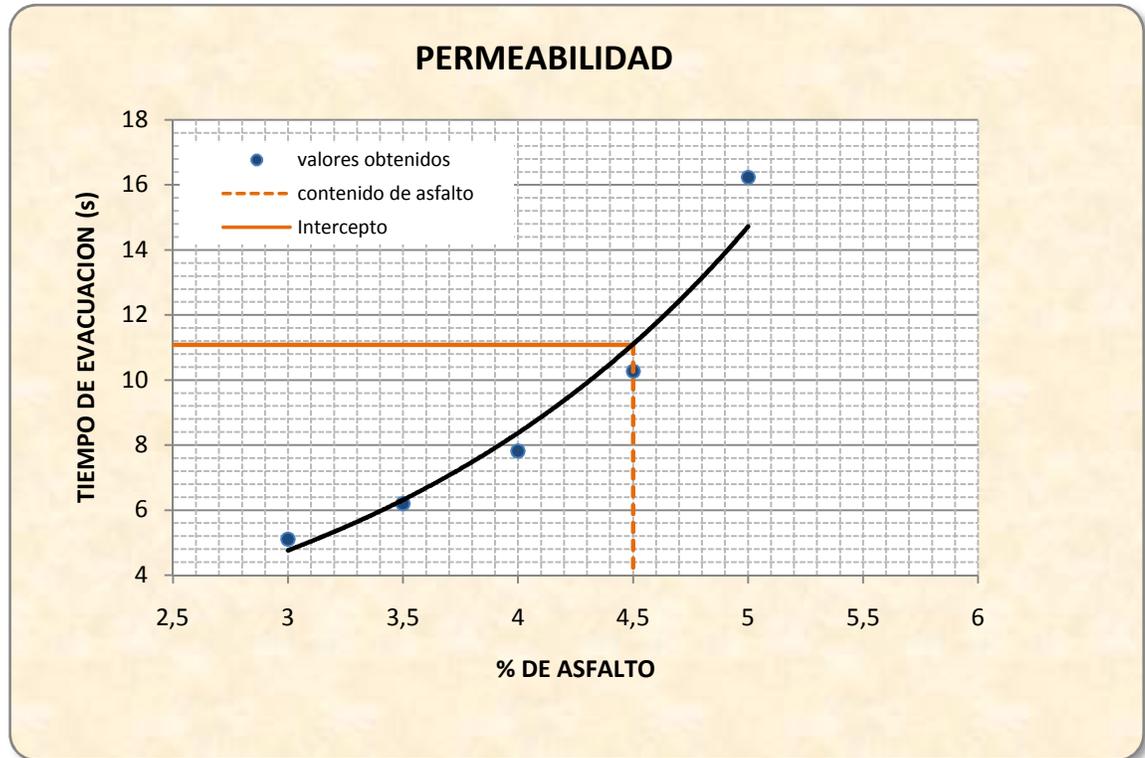


FIGURA 4.21 permeabilidad vrs % de asfalto

De los resultados de permeabilidad, para un contenido de 4,5% de asfalto se obtiene un tiempo de evacuación de 11.1s.

CRITERIOS DEL METODO CANTABRO	RESULTADOS	ESPECIFICACION	COMPARACION
Vacios	19.9%	20% < vacíos < 25%	Ok
Permeabilidad	11.1s	100 ml en 15 s	Ok
Perdida del Cántabro Seco	21.3%	< 25 %	Ok
Contenido de Asfalto	4.5%	≥ 4,5 %	Ok
Perdida del Cántabro Húmedo	27.8%	< 40 %	Ok

TABLA 4.21 Resumen de resultados.

Se observa que los resultados satisfacen los parámetros establecidos por la norma, por lo que se considera como satisfactorio el diseño con un contenido de 4.5% de asfalto, a continuación se presentan el resumen de resultados obtenidos en laboratorio para una mezcla con un contenido de asfalto del 4.5%

<b>CRITERIOS DEL METODO CANTABRO</b>	<b>ESPECIFICACION</b>	<b>RESULTADOS CON 4.5%</b>
Vacios	20% < vacíos < 25%	20%
Permeabilidad	100 ml en 15 s	10.3s
Perdida del Cántabro Seco	< 25 %	22.8%
Contenido de Asfalto	≥ 4,5 %	4.5%
Perdida del Cántabro Húmedo	< 40 %	28.7%

**TABLA 4.22 Comprobación del diseño.**

El diseño por el método cántabro ya ha sido concluido evaluando los criterios vistos anteriormente, sin embargo considerando que en el país se utiliza el método de diseño Marshall en el cual la evaluación de la estabilidad de la mezcla representa el parámetro más importante para la selección del contenido optimo de asfalto, se considero conveniente realizar esta prueba a la mezcla con el propósito de establecer comparaciones.

El ensayo de estabilidad Marshall evalúa la carga bajo la cual el espécimen falla.

El ensayo se realizo a la mezcla con la granulometría de diseño seleccionada (81% de grava ,15% arena y 4% filler), con el contenido optimo de asfalto obtenido por el método de diseño cántabro del 4.5%; la norma AASHTO T 245 describe el

procedimiento empleado; el numero de especímenes ensayados fue de 3, a continuación se presenta el procedimiento de cálculo para uno de ellos.



Fuente: Fotografía tomada laboratorio control de calidad, plantel Multipav Guazapa

**FIGURA 4.22 Ensayo de estabilidad y flujo**

Los resultados obtenidos del ensayo se resumen en el siguiente cuadro:

Briqueta	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Corrección	Flujo (mm)	Lectura estabilidad	Estabilidad (Kg)	Estabilidad corregida (Kg)
I	495.25	1.09	3.00	325	848	924
II	493.22	1.09	2.50	290	758	826
III	502.10	1.04	2.50	282	738	768
<b>Promedio</b>			<b>2.7</b>			<b>839</b>

**TABLA 4.23 Resultados de estabilidad.**

Al comparar los resultados obtenido con los requerimientos de la normativa FP para mezclas asfálticas, se observa un ajuste con las mezclas tipo A para tráfico pesado donde el requerimiento exigido es de 8.00 KN (816 Kg) para la estabilidad, contra los 839 Kg obtenidos del ensayo, y el flujo de 8-14 (2mm a 3.5mm) contra los 2.7 mm.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Marshall (AASHTOT-245)			
<b>(1) Stability KN, min</b>	8	5,34	4,45
<b>(2) Flow,,25 mm</b>	8--14	8—16	8—20
<b>(3) Percentair voids,,25 mm</b>	3,00--5,00	3,00--5,01	3,00--5,02

Fuente: Normativa FP

**TABLA 4.24 Requerimientos de estabilidad y flujo para mezclas densas**

## **CAPÍTULO V**

---

Procedimiento modelo de fabricación,  
colocación y seguimiento de un tramo de prueba

## **5.1.INTRODUCCIÓN**

A lo largo de esta investigación se ha hecho énfasis en las diferencias de estas mezclas drenantes de las convencionales o densas, finalmente el diseño de una mezcla en laboratorio necesita ser comprobada fuera de este de forma experimental de igual manera que en laboratorio con el fin de conocer el comportamiento de la mezcla expuesta a diversos factores y sea posible corregir errores que pudiesen presentarse.

En lo que respecta a la fabricación y puesta en obra de mezclas drenantes, los procedimientos no distan considerablemente de las mezclas tradicionales conocidas y con las cuales actualmente se trabaja en el país. En muchos aspectos los conocimientos tanto teóricos como prácticos para este tipo de mezclas resultan deficientes actualmente, sin embargo, las experiencias del extranjero son una muy buena base en estos aspectos, no se debe perder de vista en ningún momento buscar resultados acorde a los materiales de los que se dispone y la mejor trabajabilidad de estos en mezclas drenantes.

Aunque algunos de los procedimientos descritos se ajustan para el momento de un proyecto en ejecución y no para un tramo de prueba, se hizo de esta forma en el presente capítulo debido a que en el país estas mezclas son relativamente nuevas y conviene estudiar su comportamiento en un tramo de prueba antes de llevarlo a un proyecto en concreto, con el fin de conocer los ajustes en control de calidad, diseño y proceso constructivo.

Por lo anterior mencionado y tomando en cuenta las limitaciones de la presente investigación, en el siguiente capítulo se aborda únicamente aquellas diferencias que

existan con los procedimientos habitualmente conocidos y de forma puramente bibliográfica a fin de incitar la continuidad en la investigación para estas mezclas que han tenido excelentes resultados en el extranjero.

## **5.2.IMPORTANCIA DE UN TRAMO DE PRUEBA**

Antes de la ejecución de un proyecto es necesario comprobar aquellos procesos que se realizaran en su debido momento, así como establecer el mayor control sobre cada uno de ellos, dos de los procesos mayormente evaluados en mezclas asfálticas son:

- El contenido de asfalto y granulometría: implica la toma de muestras de la mezcla en producción con el fin de evaluarlas acorde al tipo de mezcla que se trate y bajo la normativa que se este utilizando, para considerarla aceptable siempre y cuando los resultados se encuentren dentro de los limites de las especificaciones y rangos de tolerancia para el diseño que fue aprobado.
- Compactación: se verifica básicamente la densidad lograda en la mezcla conforme cada una de las pasadas del compactador, para establecer un patrón de compactación bajo el cual es lograda la densidad requerida sin que se produzca un deterioro en la mezcla asfáltica.

Por lo que en la construcción del tramo de prueba se requiere aplicar los mismos procesos de mezcla, colocación y compactación que serán aplicados en la ejecución del

proyecto. La producción entonces dará inicio después de que la mezcla asfáltica producida y el tramo de prueba sean evaluados y aceptados.

Algunos de los aspectos que se mencionan a continuación son los más relevantes a prestar atención en cuanto a mezclas drenantes, sin descuidar los habitualmente evaluados en cualquier tipo de mezcla asfáltica.

### **Temperatura**

Como en cualquier etapa de experimentación, las temperaturas de extensión y compactación tienen un cuidado y atención especial, este detalle influye grandemente en el comportamiento de estas mezclas drenantes por lo que, definir en esta fase las temperaturas para ambos procesos no debe tomarse a la ligera considerando la rapidez con que esta puede disminuir debido a la peculiaridad de la mezcla.

## **Permeabilidad y vacíos**

Se considera muy importante realizar un análisis de correspondencia entre el contenido de vacíos con aire de la mezcla compactada y la permeabilidad de la capa, medida según se recomienda, utilizando un permeámetro L.C.S. creado específicamente para este trabajo según lo estipula la norma española NLT 327 para la permeabilidad in situ de estas mezclas. De modo que la correlación que se obtenga pueda ser utilizada como una medida de control cuando este en ejecución una obra.

La normativa colombiana también hace referencia a esta prueba en su norma INV E-796.



**FIGURA 5.1 Verificación de la permeabilidad en una capa terminada**

## **Compactación**

En esta etapa se hace necesario el conocimiento de la relación entre el nivel de compactación y la densidad obtenida. Este control se logra extrayendo testigos sobre los que se determinan la densidad a través del volumen de sus medidas geométricas y el

contenido de vacíos, estas extracciones se realizan en zonas que posean diferencias en los niveles de compactación, es decir, 2, 3 o 4 pasadas dobles del rodillo metálico, recordando que se está en fase de experimentación.

La densidad de referencia que se tendrá en la ejecución del tramo de prueba será el que se obtiene utilizando la metodología de Diseño Cántabro.



**FIGURA 5.2 Compactación de una capa de mezcla drenante, carretera San Martín-San Rafael Cedros.**

Hasta un 2% de diferencia se acepta en la determinación del contenido de vacíos en cara bien compactada y los obtenidos en las probetas ensayadas en laboratorio cuando se realizó el diseño (normativa chilena).

Además de lo anteriormente mencionado del tramo de prueba se necesita información acerca de:

- Los ajustes que serán necesarios en la producción de la mezcla diseñada de no alcanzarse los vacíos necesarios en campo.

- El tiempo y equipo necesario para la transportación de la mezcla.
- Uniformidad y dotación necesaria para el riego de liga impermeable.
- La forma en que será extendida la mezcla y su posterior compactación.
- Las medidas de seguridad a tomarse durante la colocación en obra.

### **5.3.FABRICACIÓN DE LA MEZCLA**

Los tipos de planta de fabricación para mezclas drenantes pueden ser:

- Continuas de tambor secador-mezclador (flujo paralelo o contraflujo)
- Discontinuas tradicionales

La literatura española sugiere un especial cuidado en las plantas de fabricación del tipo discontinuo, mas específicamente al proceso de cribado y al almacenamiento de los agregados en estado caliente, debido a que no debe perderse de vista los cambios en las fracciones de los agregados en comparación con las mezclas tradicionales o densas, sobre todo en las fracciones del agregado grueso como el de la arena que son delicados en este tipo de mezclas.

Lo que se recomienda es realizar una modificación en la superficie de cribado de las distintas mallas buscando adaptarse a las proporciones establecidas para el agregado grueso a fin de corregir las heterogeneidades que puedan ocurrir en los fraccionamientos de los agregados.

## **La temperatura y el tiempo**

Un especial cuidado durante la fabricación de una mezcla en planta es la temperatura, tanto para agregados como para asfalto, puesto que la calidad de la mezcla resultante depende grandemente de ella, en mezclas drenantes esto requiere una mayor atención, debido a la peculiaridad que presentan en su fracción gruesa, es decir, cantidades mayores de agregado grueso en comparación de la arena y el filler en caso de ser este ultimo necesario para la mezcla.

Experiencias en España mostraron que si la mezcla es calentada en exceso, la posibilidad de presentarse escurrimiento del asfalto durante la transportación de esta bachada a campo es elevada, esto a causa del alto contenido de vacios que posee la mezcla, esta ocurrencia aumenta si el asfalto utilizado es convencional debido a su menor viscosidad. Una mayor distancia de la planta a la obra se traduce en que la mezcla debe salir de esta primera con una temperatura mayor, para asegurar las necesarias en la extensión y compactación, por lo que la mezcla recién fabricada tendrá una menor viscosidad, esto unido a una mayor distancia y estadía de la mezcla en el camión durante el transporte aumenta el riesgo de escurrimiento. Es aquí donde puede observarse nuevamente la importancia del uso de asfaltos modificados en lugar de los convencionales.

En mezclas drenantes los escurrimientos provocan sub-dosificaciones de asfalto en algunas zonas, lo que significa una mala resistencia de la mezcla que finalmente podría

presentar peladuras y pérdidas de agregado fino, disminuyendo la durabilidad de la capa de mezcla.

### **El llenante mineral**

La normativa colombiana considera muy importante este aspecto ya que si el polvo mineral recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas del llenante de la mezcla y a su vez se contempla su utilización, este puede ser introducido en la misma; en caso contrario, se deberá eliminar. El tiro de aire en el secador se regula entonces de forma adecuada a fin de que la cantidad y la granulometría del llenante recuperado sean uniformes. La dosificación del llenante de recuperación y/o el de aporte se debe hacer de manera independiente de los agregados y entre sí.

Según las disposiciones colombianas en su art. 453.4.6 Fabricación de la mezcla asfáltica, se rechaza todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma, o las que presenten indicios de contaminación o de humedad. En este último caso, se procede a retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente.

También, se rechazarán aquellas mezclas en las que la envoltura de los agregados no sea perfecta.

### **Control de calidad de la mezcla**

- Análisis de la combinación de agregados para cada batchada de mezcla fabricada, las tolerancias admisibles según la normativa colombiana son:

TAMIZ	TOLERANCIA EN PUNTOS DE % SOBRE EL PESO SECO DE LOS AGREGADOS
9.50 mm (3/8") y mayores	±4
4.75 mm (N° 4)	±3
2.00 mm (N° 10)	
425 mm (N° 40)	
75 μm (N° 200)	±1

Fuente: Tabla 453.2 de las normas colombianas para mezclas drenantes

**TABLA 5.1 Tolerancias granulométricas de los agregados para mezclas drenantes**

- Con muestras tomadas de la descarga del mezclador al igual de cómo se realiza en mezclas convencionales:

Moldeo de probetas Marshall, verificación de los vacíos de la mezcla a través de la densidad bulk y la densidad máxima teórica (método rice), así como el ensayo cántabro tanto en estado seco como húmedo.

El promedio de las probetas que serán utilizadas para la evaluación de la pérdida por desgaste (6 probetas), no podrá variar en más de dos puntos porcentuales ( $\pm 2\%$ ) del que se establece en el diseño de la mezcla. Individualmente ningún valor puede variar en más de tres puntos porcentuales ( $\pm 3\%$ ).

- Determinación del contenido de asfalto por recuperación así como la respectiva granulometría de los agregados obtenidos de la recuperación.

## **5.4.COLOCACIÓN EN CAMPO**

### **5.4.1. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EXISTENTE**

En cualquier normativa referente a mezclas drenantes esta es una diferencia significativa con las mezclas tradicionales en lo que respecta a su colocación en campo, ya que se necesita un soporte previo a su colocación que brinde a la vez una buena adherencia entre capas.

Uno de los consejos es no colocar la mezcla drenante si la superficie de soporte aun no ha sido acabada y tenido el visto bueno de la persona encargada en campo, en aspectos como: capa estructuralmente sana y superficie impermeable, presentando una sección transversal apropiada.

#### **Soporte**

Se necesita que el soporte sea impermeable y posea una excelente planimetría, para evitar la infiltración del agua hacia las capas inferiores o las acumulaciones que pudiesen existir de esta dentro de de la estructura del pavimento.

Las áreas de la superficie de la capa terminada donde se formen charcos en instantes de lluvia, requieren una capa de mezcla densa de nivelación antes de que se permita la extensión de la mezcla drenante.

Es necesario que se haya logrado completamente el curado del riego del ligante en la superficie de soporte antes de aplicar la mezcla, evitando restos de ello en la superficie.

### **Adherencia**

El riego de adherencia es de vital importancia, debemos recordar que al tener un mayor contenido de vacíos estos disminuirán considerablemente el contacto con la capa subyacente. Estos riegos de adherencia entonces deben realizarse con dotaciones mayores a las habituales. La experiencia española sugiere:

- Dotaciones de 300 g/m<sup>2</sup> de ligante residual si el soporte es una capa ejecutada recientemente.
- Dotaciones de 500 g/m<sup>2</sup> de ligante residual cuando el soporte es una estructura en buenas condiciones.
- Dotaciones de 700 g/m<sup>2</sup> de ligante residual si el soporte además de antiguo está envejecido y/o presenta alguna fisuración

Si el proceso de curado del ligante se demora más de lo esperado debe corroborarse su capacidad de liga con la mezcla de forma que no se haya mermado en forma perjudicial; si esto llega a suceder se debe aplicar un riego de liga adicional.

Usualmente se utiliza como ligante de adherencia una emulsión modificada por adición de polímero tipo elastómero. Según la normativa de referencia utilizada podremos encontrar las especificaciones para estas emulsiones.

## **Drenaje**

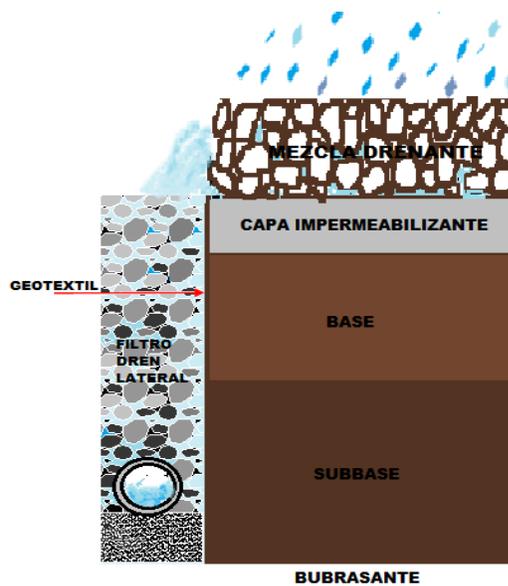
En muchas de las normativas, correspondiente a mezcla drenante, no se contempla de forma detallada el procedimiento en que deben de realizarse los drenes ya en campo, sin embargo recientemente un estudio colombiano hace énfasis en este detalle que complementa grandemente el comportamiento de la mezcla asfáltica, aunque la investigación se hizo para mezclas del tipo densas, se comprueba mediante un modelo experimental la utilidad de la mezcla drenante en la evacuación de las aguas de la estructura del pavimento, siendo elemental el cuidado de los drenajes laterales de dicha estructura y evaluando la importancia de los mismos en el funcionamiento y comportamiento de este. Las capas inferiores a la de rodadura debido a su buena compactación no permiten al agua drenar libremente aun si en dicha capa sean utilizados materiales granulares lo que conlleva a la posibilidad que el agua quede atrapada en la interfase de las capas.

<sup>1</sup>No se debe asumir en primera instancia, que las causas del deterioro de las capas de rodadura son debidas a las malas calidades de los pavimentos o diseños deficientes de las estructuras de pavimento, cuando la causa posible más real es el deficiente drenaje interno de estas y la acumulación de agua en la interfase de la carpeta con la superficie de la base que, con el paso de los vehículos, genera subpresiones o “bombeo” que pueden destruir temporalmente el pavimento.

También debemos tener presente que aun evacuando del pavimento las aguas que pueden afectarle internamente, aun existe una posibilidad de daño a hacia ella causada por la presencia de niveles freáticos altos <sup>1</sup>para lo cual se recomienda implementar

sistemas adicionales y convencionales que permitan controlar esta agua, como sistemas de filtro semi-profundos laterales. (<sup>1</sup> tomado de revista infraestructura vial, ver bibliografía).

Una de las soluciones y acorde a las necesidades que surjan en campo uno de los modelos de drenaje ideal seria el siguiente:



**FIGURA 5.3** Ejemplo de drenaje lateral del tipo cajón para pavimentos con capa superficial drenante

Se puede hacer uso de geotextiles del tipo no tejido para proteger las capas inferiores de la estructura del pavimento evitando conjuntamente la migración de los finos y dirigir el agua hacia el drenaje. El uso de geotextiles es una técnica utilizada en algunos proyectos con mezclas convencionales o densas donde debido a la frecuente presencia de agua se hace necesaria la protección de la estructura interna del pavimento sea esta del tipo enterrada o en cajón ó en terraplén.



**FIGURA 5.4 1. Uso de Geotextil en la evacuación de las aguas de la estructura del pavimento.  
2. Tubería para el desagüe de las aguas colocada sobre cama de grava.**

#### **5.4.2. TRANSPORTE Y TRANSFERENCIA DE LA MEZCLA**

Para cualquier tipo de mezcla los cuidados en su transportación no son menos importantes que alguna etapa previa o póstuma a esta.

##### **Tiempo**

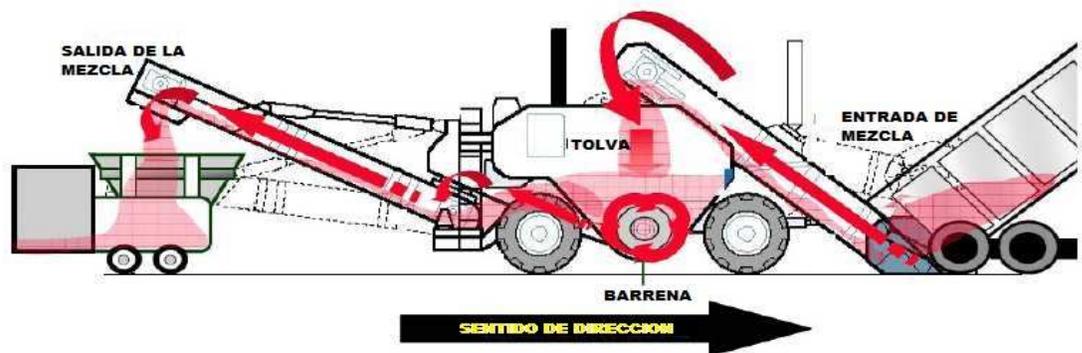
Un especial cuidado de este proceso es no perder de vista los tiempos existentes entre la salida de la mezcla en la planta y su llegada a obra, análisis españoles concluyen en que una mayor distancia implica como se mencionó anteriormente un mayor riesgo de escurrimiento. Este puede observarse sin dificultad debido a la presencia de una película más o menos gruesa de asfalto en la caja del camión de transporte.

## Equipo de transporte

El equipo para el transporte de la mezcla que se recomienda es:

- Volquetas de superficie lisa debidamente acondicionadas para transportar mezcla asfáltica. Se recomienda que la superficie interna del camión debe tratarse con un producto cuya composición y cantidad sea aprobada, con el fin de evitar la adherencia de la mezcla a ella. La forma y la altura del camión serán tales, que durante el vertido en la pavimentadora, la volqueta sólo toque a ésta a través de los rodillos previstos para dicha acción.
- Shuttle buggy

Este equipo, cuyo empleo es de carácter opcional, tiene por finalidad reducir la segregación y transferir la mezcla de las volquetas a la tolva de la máquina pavimentadora, sin que aquellas entren en contacto con ésta, ni circulen sobre superficies con riegos de imprimación o liga. Favoreciendo con esto la regularidad superficial de la capa terminada.



Fuente: [www.stillerverkeer.nl](http://www.stillerverkeer.nl)

**FIGURA 5.5** Funcionamiento básico del Shuttle buggy

## **Transferencia**

Durante el traslado de la mezcla se vuelve necesario tomar las precauciones pertinentes para que al descargarla en el equipo de transferencia o en la máquina pavimentadora, su temperatura no sea inferior a la mínima determinada como aceptable durante el desarrollo del tramo de prueba.

El tiempo de transporte máximo recomendado es inferior a 2 horas.

### **5.4.3. EXTENSIÓN DE LA MEZCLA**

#### **Tratamiento de juntas**

En esta fase el procedimiento a seguir no implica el cortado de estas juntas, ya que esto produciría el cierre de los vacíos de la mezcla, obstaculizando con ello el paso libre del agua a través de toda la capa. En la medida de lo posible se sugiere extender la mezcla en toda la anchura considerada de una sola pasada, trabajando si es necesario con dos o más pavimentadoras ligeramente desfasadas. De no ser así debe evitarse que el tránsito tenga contacto con esta junta. La extensión suele realizarse en franjas longitudinales y comenzando a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior en las secciones peraltadas.

Para extensiones posteriores paralelas es conveniente que la extendidora posea un calentador lateral de infrarrojos que permite calentar unos centímetros de la mezcla extendida en primer lugar.

Si se recurre a la técnica del cortado, asegurarse que esta acción no obstaculice el paso libre del agua, pues esto produciría un afloramiento en dicha zona. Los afloramientos también pueden surgir en la parte cóncava del perfil longitudinal, la experiencia chilena recomienda aumentar el espesor de la capa de la mezcla en el valle y mejorar los drenajes laterales para la evacuación del agua.

El acabado de estas juntas requiere hacerse de forma rápida para evitar la degradación de estas por el paso del equipo que se utilice en la obra o el causado por el tránsito.

También debe evitarse en la medida de lo posible las juntas transversales en zonas de pendiente pronunciada.



Fuente: <http://debates.coches.net/showthread.php?t=48950>

**FIGURA 5.6 Junta longitudinal con un buen acabado**

## **Equipo**

El equipo recomendado para la extensión de la mezcla es:

Pavimentadoras autopropulsadas las que deben estar dotadas de un elemento calefactor para la ejecución de la junta longitudinal.



**FIGURA 5.7** Extensión de mezcla drenante en tramo San Martín-San Rafael Cedros

#### **5.4.4. COMPACTACION DE LA MEZCLA**

Dará inicio la compactación, una vez extendida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete, sin que se produzcan desplazamientos indebidos.

Se realiza longitudinalmente de manera continua y sistemática, debiendo comenzar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindro avanzará del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma aprobada, hasta que la superficie total haya sido compactada. Si la extensión de la mezcla fue realizada por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior.

El proceso de compactación es un gran complemento cuando se ha realizado un buen tratamiento de juntas ya que se obtiene como resultado una junta longitudinal bien acabada.

Las mezclas drenantes requieren un menor esfuerzo de compactación que las mezclas densas y son considerablemente bajas para prevenir excesos de compactación que reduzcan el volumen de aire en la mezcla.

Las temperaturas requeridas para la compactación son menores, pero se debe tener cuidado de terminar rápidamente esta fase, ya que, estas mezclas poseen un espesor de capa limitado y en conjunto con su elevado contenido de vacíos, la mezcla pierde temperatura rápidamente. La temperatura de la mezcla se deberá verificar al comienzo y al final del proceso de compactación.

De ser necesario pueden utilizarse procedimientos manuales para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar. Sin embargo, deben evitarse al máximo, debido a la rugosidad de la mezcla.

### **Clima**

Durante época de lluvia no es ni conveniente ni recomendable la colocación de este tipo de mezcla, de igual forma cuando existan fuertes vientos o temperaturas bajas que comprometan el descenso de la temperatura que ocurre rápidamente debido al contenido alto de vacíos en la mezcla.

## **Equipo**

En base de la experiencia extranjera se recomienda emplear únicamente compactadores de rodillo liso metálico estáticos de preferencia, ya que los vibratorios tienden a modificar la granulometría de los agregados, pueden ser tipo tándem o triciclo de unas 10 toneladas en España y entre 8 -12 toneladas en Chile, con las cuales se ha comprobado que se consigue una capacidad de compactación suficiente. Las presiones lineales estáticas o dinámicas de los compactadores, serán las necesarias para conseguir la compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, pero sin producir con esto roturas del agregado.

Estos rodillos prácticamente deberán ir pegados a la extendedora y el número de pasadas son establecidas cuando se realiza un tramo de prueba, se dice que normalmente suelen estar comprendidas entre 3 y 5 pasadas. No se contempla la utilización de compactadores de neumáticos ya que no se adaptan a este tipo de mezclas aun si se utilizan antiadherentes, los agregados finos se pegan a los neumáticos y se produce entonces una mala terminación de la capa de mezcla drenante.

## **Calidad y control de la capa terminada**

Según la normativa Colombiana, cuando la mezcla haya sido compactada la cota de cualquier punto de la mezcla no excederá en más de 10 mm de lo previsto.

Tal y como se hizo en el tramo de prueba se extraen muestras al azar de la capa ya colocada de una sola puesta (5 por lo menos), y se analizan:

- Los vacíos: el promedio de todas las muestras no debería variar en más de tres puntos porcentuales ( $\pm 3\%$ ), individualmente no más de tres muestras variaran en más de cuatro puntos porcentuales ( $\pm 4\%$ ) de lo establecido en el diseño de la mezcla.
- El espesor medio de la capa terminada que como se espera sea mayor o igual a lo planteado en el diseño y el espesor individual por lo menos igual al 90% del de diseño.

Si alguna de las tolerancias son rebasadas o no se alcanzan se recomienda levantar la capa de esa puesta y preparar de nuevo la superficie de soporte.

## **5.5.SEGUIMIENTO**

La normativa colombiana sugiere verificar, luego de la compactación:

- Textura superficial antes de abrirse al tránsito el pavimento con capa superficial drenante en acorde a la normativa colombiana INV E-791, la profundidad promedio de textura del sector analizado no podrá ser menor de quince décimas de milímetro (1.5 mm), individualmente ninguno de los valores obtenidos sea inferior en más de veinte por ciento (20%) al promedio mínimo exigido.

Al menos 30 días después de la apertura al tránsito de la capa de mezcla drenante, se harán las determinaciones de la resistencia al deslizamiento. Las medidas se

realizarán con el péndulo británico, en acuerdo a la normativa colombiana INV E - 792 que tiene correspondencia con la norma de ensayo AASHTO T 278 – 90 (1999) y AASHTO M – 261 – 96 (2004). Las medidas se toman en tres puntos por lote en zonas en tangente y en uno por cada curva horizontal y por cada zona en que existan glorieta, intersección, zona de frenado, etc. incluida dentro de la cantidad de mezcla fabricada, y ninguna de ellas podrá presentar un valor inferior a 0.55 para las zonas en tangente y 0.60 para las demás zonas.

- Calculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

La superficie del pavimento tendrá una regularidad superficial aceptable, si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la siguiente tabla:

PORCENTAJE DE HECTOMETROS	PAVIMENTOS DE CONSTRUCCION NUEVA Y REHABILITADOS EN ESPESOR > 100 mm	PAVIMENTOS REHABILITADOS EN ESPESOR ≤ 100 mm
	NT2 Y NT3	NT2 Y NT3
40	1.4	1.9
80	2.0	2.5
100	2.5	3.0

Fuente: Tabla 453.3 Valores máximos admisibles de IRI (m/km), Artículo 453-07, normativa INVIAS

**Tabla 5.2** Valores máximos admisibles de IRI (m/km)

## **CAPITULO VI**

---

### Conclusiones y Recomendaciones

## 6.1.CONCLUSIONES

- Es necesario realizar un adecuado muestreo y reducción de los materiales pétreos a utilizar en el diseño, con el objeto de cuidar la representatividad de los mismos y garantizar una adecuada dosificación, ya que esto puede influir en forma determinante en la estimación de vacíos de mezcla, obteniéndose variaciones importantes entre uno y otro espécimen, y por ende comprometer los resultados de desgaste y permeabilidad de la mezcla.
- La selección de los materiales a dosificar, dependerá no solamente del ajuste que la granulometría de estos ya combinados tenga a la especificación de diseño adoptada, sino al cumplimiento de los criterios del método.
- Es indispensable la utilización de asfaltos modificados en este tipo de mezclas, ya que se debe garantizar una adecuada envoltura de las partículas que conforman la estructura, para evitar los problemas que pueda presentar debido a la exposición permanente al aire y agua que supone el uso de las mezclas drenantes, además de la susceptibilidad al escurrimiento del asfalto, producto de la estructura abierta.
- El contenido óptimo de asfalto debe garantizar que el desgaste producto del ensayo cántabro en condición seca, los vacíos, y la permeabilidad de la mezcla,

se encuentren dentro de los requerimientos exigidos; contenidos altos pueden comprometer su funcionalidad ante posibles escurrimientos, y contenidos bajos la envoltura adecuada de los agregados.

- El ensayo de desgaste en condición húmeda (cántabro húmedo) sirve para comprobar la adhesividad entre el agregado y el asfalto, un resultado que no cumpla con lo requerido por la especificación, no necesariamente demuestra que el contenido de asfalto utilizado no es adecuado, sino que evidencia una mala adhesividad agregado-asfalto lo que puede solventarse mediante el uso de un aditivo que mejore su adherencia.
- En el trabajo desarrollado en laboratorio se utilizó una dosificación grava, arena, filler de 81%, 13% y 4% respectivamente, para lograr el alto contenido de vacíos requerido (de acuerdo a la especificación utilizada en esta investigación), se necesita de una granulometría especial, la cual se obtiene mediante un alto porcentaje de agregado grueso de más del 80% como mínimo, aproximadamente.
- El ensayo cántabro en condición seca, evalúa la cohesión que existe entre las partículas de la mezcla mediante el uso de la Máquina de los Ángeles, mismo equipo que se utiliza para el ensayo conocido como cántabro húmedo, el primero, determinante en el método de diseño empleado en la investigación; tanto el conocimiento y disponibilidad de este equipo se tienen localmente, por lo

que la implementación del método de diseño desarrollado, resultaría factible, y rápido.

- Los resultados obtenidos en laboratorio muestran que el contenido de asfalto es el que aporta en gran medida cohesión a la mezcla, como se observan en los resultados, en el ensayo cántabro seco, se observa una diferencia bien marcada utilizando la misma granulometría y variando del 3% al 5% de asfalto, obteniendo desgastes del 15.2% al 41.9% respectivamente, con solo variar dos puntos porcentuales en el contenido de asfalto.
- Los materiales triturados de origen basáltico utilizados en la presente investigación son adecuados para uso en la producción de mezcla drenante; con las propiedades de estos y un tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " , se logro una estructura estable y con las características requeridas para estas mezclas, además de que se comprueba que existe una buena adherencia agregado-asfalto ya que para el contenido óptimo de asfalto (para el que se obtuvo desgaste en condición seca del 22.8%), al realizar el ensayo cántabro en condición húmeda se obtuvo un desgaste del 28.7%, logrando un buen margen con el permitido por la especificación que es de 40%.
- Aunque en otros países se encuentra normalizada la evaluación de la permeabilidad en mezclas drenantes, es válido simplificar su evaluación a la

postura optada por algunos países que establecen que al alcanzar el contenido de vacíos especificado, se garantiza la permeabilidad de la mezcla si estos vacíos se encuentran debidamente interconectados, por lo que basta con colocar un volumen de agua sobre la probeta y tomar el tiempo que tarda en atravesarla para verificar su interconexión, conviene que las condiciones de esta prueba se establezcan para evitar que las variaciones entre iguales especímenes sean grandes.

- Para este diseño en particular se realizó la prueba de estabilidad Marshall, aunque no se encuentra dentro del método establecido para el diseño de mezcla drenante, el resultado fue de 839 Kg ya corregida y promediada de los tres especímenes ensayado, valor que cumple con el requerimiento de 816 Kg establecido como mínimo para mezclas densas que serán sometidas a tráfico pesado, lo que brinda un panorama alentador de su aplicabilidad de nuestro diseño ante altas solicitaciones.
- En anexos se muestra el análisis estadístico realizado a los resultados obtenidos de laboratorio, de este se concluye que los resultados de acuerdo a los criterios seleccionados para su evaluación, tienen bastante representatividad, por lo que estos se aceptan como válidos.

## 6.2.RECOMENDACIONES

- Esta investigación representa un inicio en lo que respecta al diseño de mezclas asfálticas drenantes, la información aquí presentada debe servir como incentivo para desarrollar nuevas investigaciones que amplíen los conocimientos ya adquiridos.
- Es necesario tomar en cuenta que para la implementación de mezclas asfálticas de tipo drenante en un proyecto, es necesario realizar un estudio técnico y económico, teniendo en consideración lo aquí realizado, evaluando la aplicabilidad y los beneficios que estas puedan brindar ante determinados problemas.
- El tamaño máximo del agregado grueso utilizado fue de 3/4", sin embargo debe de realizarse un estudio con tamaño máximo de 1/2", y establecerse parámetros de comparación entre estos y así determinar conveniencias.
- Para el presente diseño se ha utilizado un mismo tipo de asfalto, limitados a la muestra que fue posible obtener, sin embargo es necesario realizar estudios con diversos tipos de asfaltos y establecer comparaciones.

- En el trabajo en laboratorio debe prestársele especial interés al adecuado proporcionamiento de agregados y la representatividad de la muestra, ya que los resultados obtenidos en el diseño de este tipo de mezcla, son afectados de manera significativa por estos factores.
- El porcentaje de vacíos alcanzado fue del 20%, cumpliendo con la especificación inferior de la norma utilizada, sin embargo es necesario realizar nuevos diseños de manera que se logre alcanzar un mayor contenido de vacíos, tomando como referencia la metodología planteada en este estudio.
- El material utilizado como filler fue polvo de roca proveniente de planta de trituración, material que ofreció buenos resultados, sin embargo su disponibilidad es poca, por lo que se recomienda realizar investigaciones, utilizando materiales como el cemento o la cal como filler.
- Aunque la especificación utilizada para el diseño en esta investigación no contempla un procedimiento bien definido para la evaluación de la permeabilidad, debe establecerse uno, con el objeto de estandarizar las condiciones de ensayo y así evitar grandes variaciones.

- Una investigación detallada sobre una adecuada producción, proceso constructivo, control de calidad a implementar para las mezclas drenantes, es un buen complemento de la presente investigación.
- Se puede dar continuidad a este tema mediante la elaboración en planta de la mezcla drenante, y la construcción de un tramo experimental, donde se pongan a prueba las propiedades de estas mezclas, por lo que este tema queda abierto para hacer mayores investigaciones con el apoyo de empresas o instituciones que estén interesadas en auspiciarla.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Montejo Fonseca, Alfonso (2002): “Ingeniería de Pavimentos para Carreteras”; Universidad Nacional de Colombia ediciones y publicaciones
- Hernández, Jorge Rodríguez: “Estudio, Análisis y Diseño de Secciones Permeables de Firmes para Vías Urbanas con un Comportamiento Adecuado Frente a la Colmatación y con la Capacidad Portante Necesaria para Soportar Tráficos Ligeros”; Tesis, Universidad de Cantabria
- Especificaciones y Normas de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales; ASTM (American Society for Testing and Materials); edición del año 2004
- Especificaciones y Normas de la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales para el Transporte; por sus siglas en ingles “AASHTO” (American Association of State Highway and Transport Official), edición del año 2005.
- Cortez García, José Mauricio: “Guía Básica de Diseño, Control de Producción y Colocación de Mezclas Asfálticas en Caliente”; Tesis; Universidad de El Salvador

- Aguirre Renderos, Roberto Alexander: “Evaluación de la Incidencia de la Temperatura en el Desempeño de las Carpetas Asfálticas en Caliente en El Salvador”; Tesis; Universidad de El Salvador
- Alas Aguilar, Ana Silvia (2009) “Diseño de Mezcla de Concreto Poroso para Pavimentos Hidráulicos en El Salvador”; Tesis; Universidad Politécnica de El Salvador
- O. Rebollo; R. González y G. Botasso : Determinación del Porcentaje de Ligante Optimo, en Mezclas Asfálticas Abiertas  
[www.frlp.utn.edu.ar/lemacPublicacionesDel%202006Drenantes%20Ecu](http://www.frlp.utn.edu.ar/lemacPublicacionesDel%202006Drenantes%20Ecu)
- Miro Recasens, Jorge-Rodrigo (1994): “Metodología Para la Caracterización de Ligantes Asfálticos Mediante el Empleo del Ensayo Cántabro”
- HERNANDEZ, R. y FERNANDEZ, C. (1991). *Metodología de la Investigación*. México D.F., McGraw-Hill Interamericana de México S.A. de C.V.
- Mezclas porosas o drenantes

Prof. Dr. Miguel A. del Val

XV curso internacional de carreteras - Septiembre /diciembre 2000

- “Análisis cualitativo del flujo de agua de infiltración para el control del drenaje de una estructura de pavimento flexible en la ciudad de Bogotá DC.”

Revista “Infraestructura vial”- Volumen 11- Número 22 - Agosto 2009

- MAD con y sin asfalto modificado

<http://www.umng.edu.co/www/resources/6n1art9.pdf>

- <http://www.umng.edu.co/www/resources/6n1art9.pdf>

- <http://www.bp.com/genericarticle.do?categoryId=3050247&contentId=3050347>

[http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2007/salamanca\\_ga/sources/salamanca\\_ga.pdf](http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2007/salamanca_ga/sources/salamanca_ga.pdf)

# ANEXOS

## **INDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A: Tolerancias de desviación del contenido de asfalto para la  
fabricación en planta**

**ANEXO B: Análisis estadístico**

**ANEXO C: Especificaciones generales para agregados y asfalto**

**ANEXO 4: Normas de Ensayo**

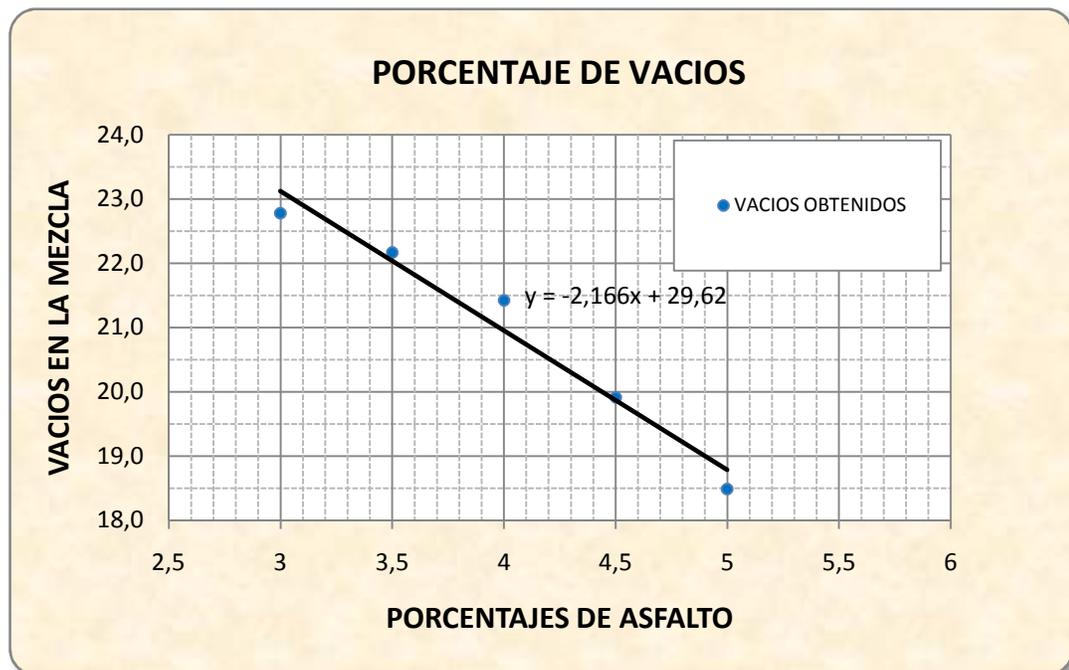
## **ANEXO A**

---

Tolerancias de desviación del contenido de  
asfalto para fabricación en planta

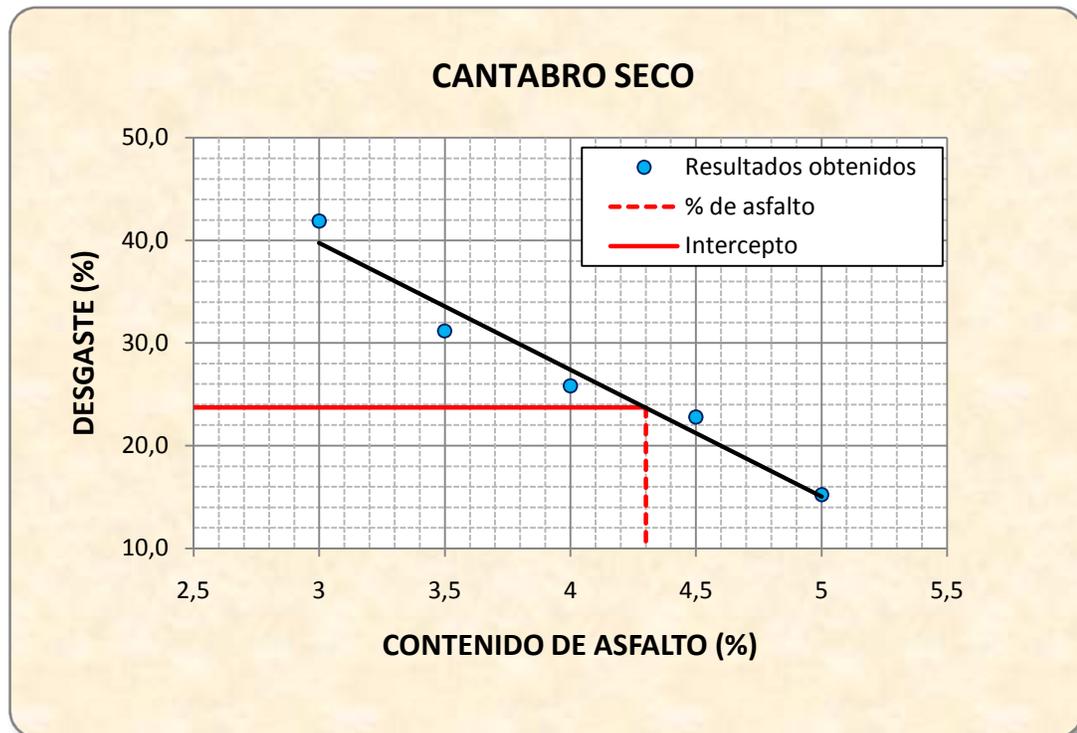
## DETERMINACION DE TOLERANCIAS DE DESVIACION DEL CONTENIDO DE ASFALTO CON RESPECTO AL ÓPTIMO PARA LA FABRICACION EN PLANTA.

Con el propósito de establecer tolerancias en cuanto a la desviación del contenido de asfalto proporcionado con respecto al óptimo en la fabricación en planta, se realizó un análisis de los resultados de laboratorio para establecerlas.



El contenido óptimo de asfalto seleccionado fue del 4.5%, establecido de acuerdo a los criterios de la normativa INVIAS, sin embargo se observó que el contenido de vacios alcanzado con este, fue en el límite de la especificación (19.9% contra los 20% exigidos), aunque como se vio en el transcurso de la investigación, en los diversos

lugares en los que se ha estudiado este tipo de mezcla, existen diferencias en cuanto al contenido de vacíos aceptados por estos, para considerar una mezcla como drenante, por lo que tomando esta referencia se establecerán las siguientes tolerancias.



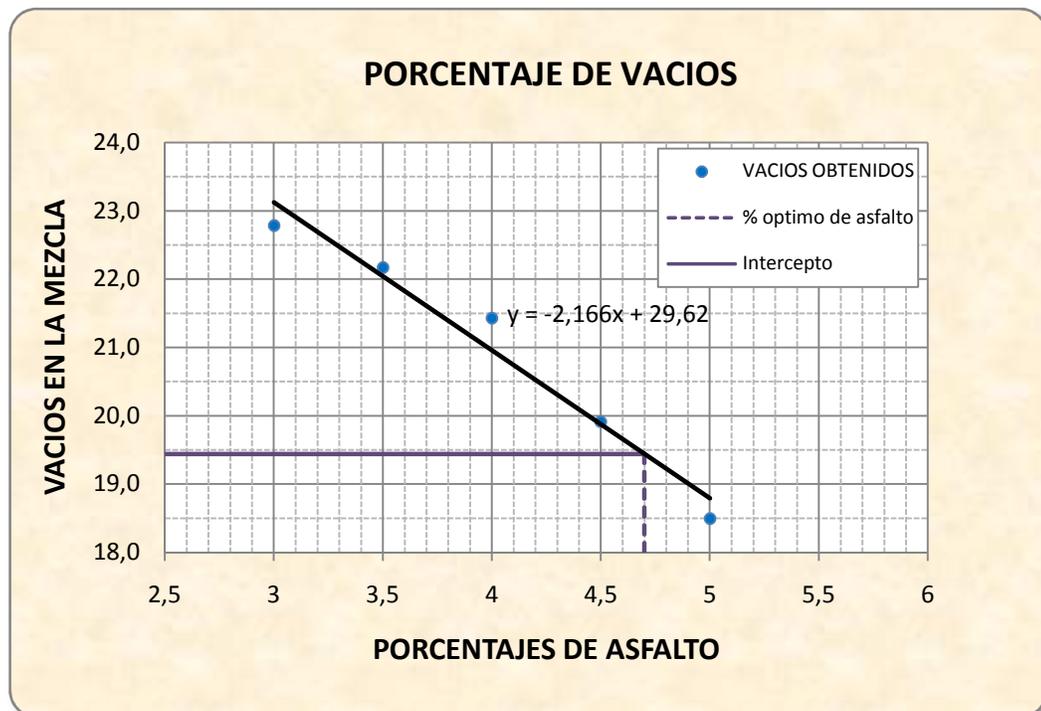
Del ensayo cántabro seco se estableció que el contenido de asfalto necesario para satisfacer el requerimiento de desgaste de menos del 25%, fue 4.2% con el cual del grafico se obtuvo un desgaste del 25%, sin embargo no podría ser establecido este como punto de referencia para establecer las tolerancias, ya que no se puede garantizar que siempre sea posible cumplir con la especificación, por lo que analizando el contenido de 4.3% como se muestra en el grafico se obtiene un desgaste del 23.7%, tomando este punto como referencia, y observando que de 4.5% (contenido optimo seleccionado), al

4.3% existe una diferencia del 0.2% se establece dicha diferencia como posible tolerancia en cuanto al contenido de asfalto.

Ahora, estableciendo el rango de variación permisible  $4.5 \pm 0.2\%$ , es necesario corroborar que este cumpla con los criterios de evaluación.

**LIMITE INFERIOR: 4.3%**

**VACIOS**

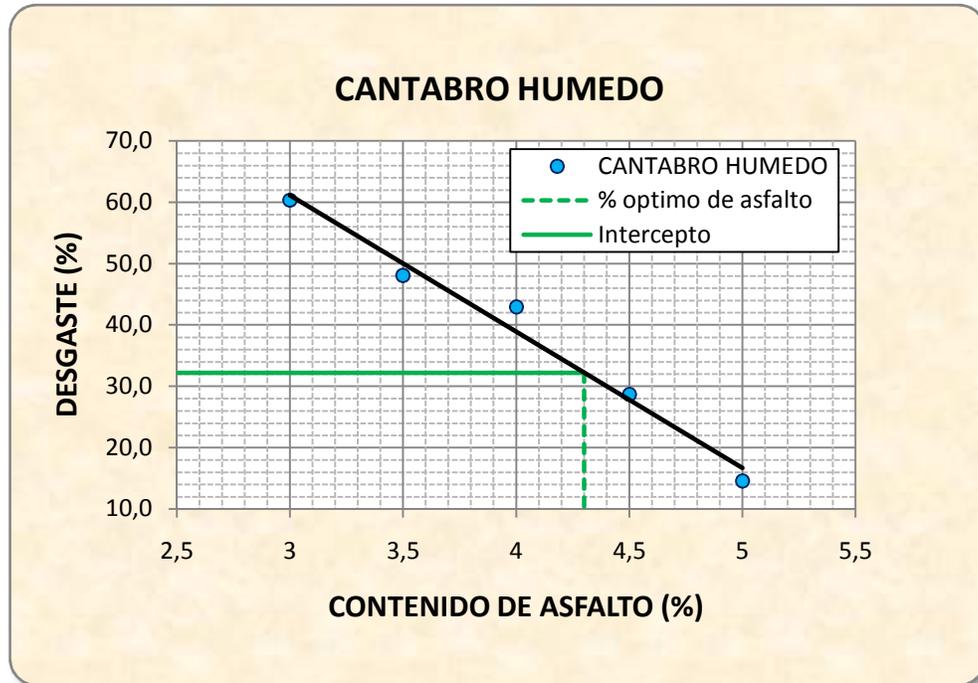


Se obtienen para un 4.3% un contenido de vacios del 20.3%.

**DESGASTE CANTABRO SECO**

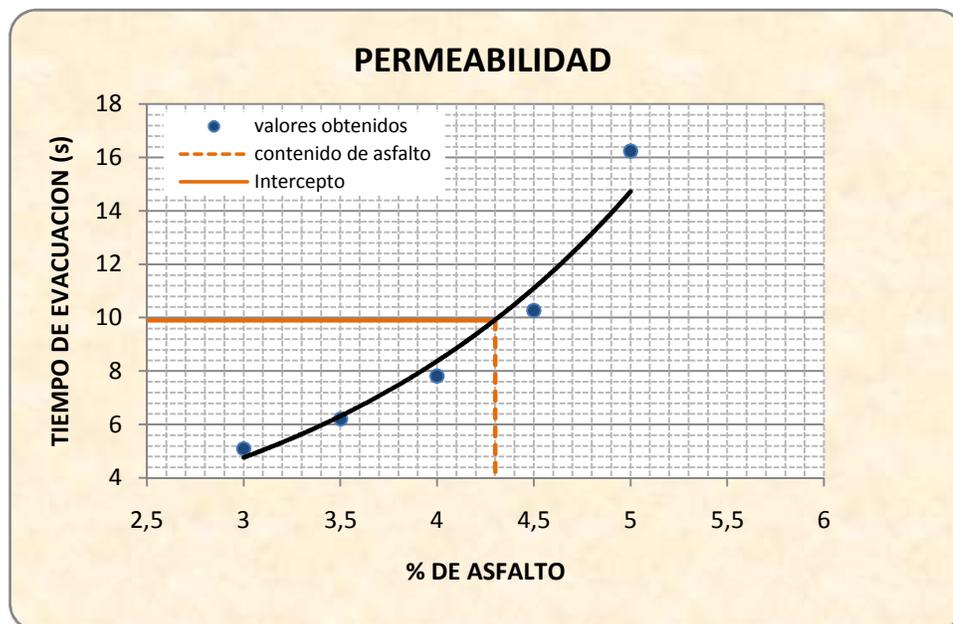
Como se estableció anteriormente para 4.3% un desgaste en seco del 23.7%.

## DESGASTE CANTABRO HUMEDO



Para un contenido del 4.3% se obtiene un desgaste en condición húmeda del 32.2%

## PERMEABILIDAD



Finalmente para la que se obtiene 9.9 s para 4.3%, resultados se resumen a continuación:

<b>CRITERIOS DEL METODO CANTABRO</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>ESPECIFICACION</b>	<b>COMPARACION</b>
Vacios	20.3%	20% < vacíos < 25%	Ok
Permeabilidad	9.9s	100 ml en 15 s	Ok
Perdida del Cántabro Seco	23.7%	< 25 %	Ok
Perdida del Cántabro Húmedo	32.2%	< 40 %	Ok

Por lo que se concluye que 4.3% puede establecerse como límite inferior de aceptación del contenido de asfalto, de igual forma analizando nuevamente los gráficos para un contenido del 4.7%. los resultados se resumen a continuación.

**LIMITE SUPERIOR: 4.7%**

<b>CRITERIOS DEL METODO CANTABRO</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>ESPECIFICACION</b>	<b>COMPARACION</b>
Vacios	19.4%	20% < vacíos < 25%	<b>NG</b>
Permeabilidad	12.4 s	100 ml en 15 s	Ok
Perdida del Cántabro Seco	18.8%	< 25 %	Ok
Perdida del Cántabro Húmedo	23.3%	< 40 %	Ok

Como se dijo, aunque no se alcanzan los vacios exigidos, no significa que la mezcla no tenga capacidad drenante, es necesario llevar a cabo pruebas de laboratorio con el propósito de corroborar si estos límites satisfacen realmente las condiciones planteadas y si estos pueden ser adoptados como tolerancias, específicamente para el diseño de esta

mezcla con los materiales utilizados, ya que sería necesario establecer nuevos estudios para otro diseño.

En definitiva se adopta como tolerancias en la fabricación de mezcla drenante, con asfalto modificado del tipo III-D, materiales pétreos triturados ambos con las características presentadas en el capítulo 3, y contenido óptimo del 4.5%,  **$\pm 0.2\%$** .

## **ANEXO B**

---

### Análisis Estadístico

## ANALISIS ESTADISTICO

### COEFICIENTE DE VARIACION (C.V.)

En estadística el coeficiente de variación (de Pearson), es una medida de dispersión útil para comparar dispersiones a escalas distintas pues es una medida invariante ante cambios de escala. Sirve para comparar variables que están a distintas escalas pero que están correlacionadas estadísticamente y sustantivamente con un factor en común. Es decir, ambas variables tienen una relación causal con ese factor. Su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación típica o estándar. Por otro lado presenta problemas ya que a diferencia de la desviación típica este coeficiente es variable ante cambios de origen. Por ello es importante que todos los valores sean positivos y su media de por tanto un valor positivo. A mayor valor de C.V. mayor heterogeneidad de los valores de la variable; y a menor C.V., mayor homogeneidad en los valores de la variable. Suele representarse por medio de las siglas C.V..

Se calcula:

$$C.V.=\sigma/\bar{X}\times 100$$

Donde  $\bar{x} > 0$  y  $\sigma$  es la desviación típica.

Aplicando este análisis a los resultados obtenidos por el ensayo de desgaste Cántabro en condición seca:

## CANTABRO SECO

Los resultados obtenidos del ensayo:

CONTENIDO DE ASFALTO 3.0%						
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES (gr)	PERDIDA (%)	PERDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
A	28	27	997,1	671,8	32,6	41,9
B	29	29	991,3	483,7	51,2	
C	29	29	996,6	736,4	41,9	
D	29	29	990,1	575,8	41,8	

Calculando la desviación típica mediante la expresión se tiene:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

N	X <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> - X	(X <sub>i</sub> - X) <sup>2</sup>
1	32.6	-9.3	86.0
2	51.2	9.3	87.0
3	41.9	0.0	0.0
4	41.8	-0.1	0.0
<b>s</b>	<b>41.9</b>		<b>173.0</b>

$$\sigma = \sqrt{\frac{173.0}{4}}$$

$$\sigma = 6.58$$

$$C.V. = \frac{6.58}{41.9} \times 100$$

$$C.V. = 15.70\%$$

Este es el resultado obtenido para el contenido de asfalto de 3%, el mismo análisis deber de realizarse para cada contenido; a continuación se presentan los resultados obtenidos mediante la ayuda de una hoja de cálculo para simplificar el análisis:

<b>Contenido de Asfalto (%)</b>	<b>Varianza</b>	<b>Coefficiente de Variación (C.V. %)</b>
<b>3.0</b>	6.6	15.7
<b>3.5</b>	3.6	11.6
<b>4.0</b>	3.4	13.0
<b>4.5</b>	3.1	13.6
<b>5.0</b>	1.8	11.5

Para la interpretación de estos resultados se ha recurrido al texto de estadística del profesor Gidalberto Bonilla, de la editorial UCA, donde proporciona la siguiente tabla para evaluar el grado de representatividad del promedio, para distintos coeficientes de variabilidad:

<b>Valor del coeficiente de variabilidad</b>	<b>Grado en que la media representa a la serie</b>
De 0 a menos de 10%	Media altamente representativa
De 10 a menos de 20%	Media bastante representativa
De 20 a menos de 30%	Media tiene representatividad
De 30 a menos de 40%	Media cuya representación es dudosa
De 40% o mas	Media carente de representatividad

De lo anterior se adoptara como aceptable que el grado de representatividad se encuentre entre alta y bastante por lo que se establece que el coeficiente de variabilidad(C.V.) para

los propósitos de nuestro estudio debe estar contenido entre 0% y 20%, para el caso de los resultados del ensayo cántabro seco, se aceptan.

### **CANTABRO HUMEDO**

Para el ensayo el cántabro húmedo en condición húmeda se obtuvieron los siguientes resultados

<b>Contenido de Asfalto (%)</b>	<b>Varianza</b>	<b>Coefficiente de Variación (C.V. %)</b>
<b>3.0</b>	6.2	10.3
<b>3.5</b>	8.4	17.5
<b>4.0</b>	3.3	7.6
<b>4.5</b>	1.9	6.6
<b>5.0</b>	1.4	9.3

Todos se encuentran dentro del rango establecido (0% al 20%), por lo que se aceptan

## VACIOS

CONTENIDO ASFALTO	VACIOS OBTENIDOS (LABORATORIO)	PROMEDIO	VARIANZA	C.V (%)
3.00%	21.5	22.8	1.1	4.9
	23.8			
	20.5			
	23.1			
	23.4			
	23.0			
	22.9			
	24.1			
3.50%	21.2	22.2	1.0	4.4
	21.9			
	22.3			
	22.4			
	23.9			
	22.6			
	22.5			
	20.4			
4.00%	20.9	21.6	1.1	5.1
	22.3			
	21.5			
	19.3			
	22.7			
	22.6			
	21.7			
4.50%	19.3	19.9	1.2	6.1
	20.4			
	20.8			
	20.4			
	17.0			
	21.2			
	20.3			
	19.9			
5.00%	17.9	18.5	0.6	3.5
	18.5			
	17.4			
	18.8			
	18.7			
	18.0			
	19.1			
	19.5			

<b>Contenido de Asfalto (%)</b>	<b>Varianza</b>	<b>Coefficiente de Variación (C.V. %)</b>
<b>3.0</b>	1.1	4.9
<b>3.5</b>	1.0	4.4
<b>4.0</b>	1.1	5.1
<b>4.5</b>	1.2	6.1
<b>5.0</b>	0.6	3.5

Se muestran excelentes resultados para los vacíos de la mezcla

## **ANEXO C**

---

# Especificaciones generales para agregados y asfalto

## ARTÍCULO 400 - 07

### DISPOSICIONES GENERALES PARA LA EJECUCIÓN DE RIEGOS DE IMPRIMACIÓN, LIGA Y CURADO, TRATAMIENTOS SUPERFICIALES, SELLOS DE ARENA ASFALTO, LECHADAS ASFÁLTICAS, MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO Y EN CALIENTE Y RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

#### 400.1 DESCRIPCIÓN

Esta especificación presenta las disposiciones que son generales a los trabajos de imprimación, riegos de liga y de curado; tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto y lechadas asfálticas; bases, capas de mezcla asfáltica, bacheos asfálticos en frío y en caliente y reciclados con productos bituminosos, a los cuales se refiere el Capítulo 4 de las presentes Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.

#### 400.2 MATERIALES

##### 400.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una buena adhesividad.

El Constructor es el único responsable por los materiales que suministre para la ejecución de todas las partidas de trabajo incluidas en el Capítulo 4 de estas Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.

Para el objeto de las especificaciones del Capítulo 4, se denominará agregado grueso la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No.4); agregado fino la porción comprendida entre los tamices de 4.75 mm y 75  $\mu$ m (No.4 y No.200) y llenante mineral la que pase el tamiz de 75  $\mu$ m (No.200).

El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables.

Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto. Sus requisitos básicos de calidad se presentan en la Tabla 400.1.

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última dentro del conjunto se encuentra definida en la respectiva especificación. Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad pertinentes indicados en la Tabla 400.1

Tabla 400.1(a)  
Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas  
Nivel de tránsito NT1

TIPO DE TRATAMIENTO O MEZCLA	DESCASTE LOS ANGELES E-218 E-219	DESCASTE MICRO-DEVAL E-238	10% DE FINOS (EN)		PERDIDAS EN ENSAYO DE SOLIDEZ E-220 E-220	PARTICULAS FRAGMENTADAS MECCANICAMENT. (% de material menor a 1.18 mm) E-227	ANGULARIDAD Método A (Agregado fino) E-229	COEFICIENT DE PULIMENTO ACELERAD. E-232	FORMA			L. P. E-125 E-126	EQUIVALENT. DE ARENA E-133	CONTENIDO DE IMPUREZAS (Agregado grueso) E-237	ADHESIVIDAD							
			Seco E-224	Relación Húmedo/ seco E-224					Sulfato de sodio E-220	Partículas de apuntamiento E-230	Índice de apuntamiento E-230				Índice de alargamiento E-230	Partículas alargadas (Relación S:L) E-240	Bicel Wobler E-274	Stripping E-237	Bandeja E-240	Resistencia conservada Imm-Comp. E-238	Resistencia a Tracción Indirecta E-225	Perdidas por Inmersión E-260
NORMA INV	E-218 E-219	E-238	E-224	E-224	E-220 E-220	E-227	E-229	E-232	E-230	E-230	E-240	E-125 E-126	E-133	E-237	E-274	E-237	E-237	E-240	E-238	E-225	E-260	
SELO DE ARENA ASFALTO					12% máx.		4.5 % mín					N.P.	50 % mín.	E-237	4 min.							
TRATAMIENTO SIMPLE Y DOBLE	25 % máx.				12% máx.	75/-		0.45 mín.	30 % máx.	30 % máx.				0.5 % máx.			80 % mín.					
LECHADA ASFALTICA	25 % máx.				12% máx.		4.5 % mín.					N.P.	50 % mín.	0.5 % máx.	4 min.							
MEZCLA ABIERTA EN FRIJO	25 % máx. (rodadura) 35 % máx. (intermedia)				12% máx.	75/- (rodadura) 60/- (intermedia)		0.45 mín. (rodadura)			10 % máx.			0.5 % máx.		95 % mín.						
MEZCLA DENSA EN FRIJO	25 % máx. (rodadura) 35 % máx. (intermedia)				12% máx.	75/- (rodadura) 60/- (intermedia)		0.45 mín. (rodadura)			10 % máx.			0.5 % máx.								
-Agregado grueso					12% máx.		40 % mín. (rodadura) 35 % mín. (intermedia)							0.5 % máx.								
-Agregado fino					12% máx.									0.5 % máx.								
- Gradación combinada					12% máx.	60/-						N.P.	50 % mín.	0.5 % máx.								
MEZCLA ABIERTA EN CALIENTE	35 % máx.				12% máx.									0.5 % máx.		95 % mín.						
MEZCLA DENSA, SEMIDENSA Y GRUESA EN CALIENTE	25 % máx. (rodadura) 35 % máx. (intermedia)				12% máx.	75/- (rodadura) (intermedia)		0.45 mín. (rodadura)			10 % máx.			0.5 % máx.								
-Agregado grueso					12% máx.		40 % mín. (rodadura) 35 % mín. (intermedia)							0.5 % máx.								
-Agregado fino					12% máx.									0.5 % máx.								
- Gradación combinada					12% máx.	50/- (mezcla en frío) 75/- (mezcla en caliente)	35 % mín. (en frío) 40 % mín. (en caliente)	0.45 mín. (rodadura) 0.45 mín. (en caliente)						0.5 % máx.								
RECUBRIDO DEL PAVIMENTO EXISTENTE (Material de solución)	40 % máx. (en frío) 25 % máx. (en caliente)				12% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.									0.5 % máx.								
					18% máx.																	

Tabla 400.1 (b)  
Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas  
Nivel de tránsito NT2

TIPO DE TRATAMIENTO O MEZCLA	DESGASTE LOS ANGELES E-218 E-219	DESGASTE MICRO-DEVAL E-218 E-219	10% DE FINOS (EN SECO)		PERDIDAS EN ENSAYO DE SOLERA		PARTICULAS FRACTURADAS MECANICAMENTE. (Agregado grueso) 1 cara 2 caras	ANGULARIDAD Método A (Agregado fino)	COEFICIENTE DE RUIDO Y ACCELERADO	FORMA			EQUIVALENT. DE ARENA	CONTENIDO DE IMPUREZAS (Agregado grueso)	ADHESIVIDAD				Perdidas Cambio inmersión E-760				
			Seco E-224	Humedo/ seco E-224	Salida de sulfato de sodio E-220	Salida de sulfato de magnesio E-220				Indice de aplanamiento E-230	Indice de abargamiento E-230	Partículas planas y alargadas (Relación S1) E-240			L.P. E-125 E-126	Strappin g E-737	Bandeja E-740	Resistencia conservada Imm-Comp. E-738		Resistencia conservada indirecta E-725			
NORMA INV	E-218 E-219	E-218 E-219	E-224	E-224	E-220	E-220	F- 227	E-239	E-232	E-230	E-230	E-240	E-125 E-126	E-133	E-237	E-774	E-737	E-740	E-738	E-725	E-760		
SELO DE ARENA ASFALTO					12% máx.	18% máx.		45 % min.					N.P.	50 % min.		4 min.							
TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE Y DOBLE	25 % máx.	25 % máx.			12% máx.	18% máx.	75/60		0.45 min.	30 % máx.	30 % máx.			0.5 % máx.				80 % min.					
LECHADA ASFALTICA	25 % máx.	25 % máx.			12% máx.	18% máx.		45 % min.					N.P.			4 min.							
MEZCLA ABIERTA EN FRIO	25 % máx. (rodadura) 35 % máx. (intermedia) 35 % máx. (base)	25 % máx. (rodadura) 30 % máx. (intermedia) 30 % máx. (base)			12% máx.	18% máx.	75/60 (rodadura) 75- (intermedia) 60- (base)		0.45 min. (rodadura)					0.5 % máx.									
MEZCLA DENSA EN FRIO	25 % máx. (rodadura) 35 % máx. (intermedia) 35 % máx. (base)	25 % máx. (rodadura) 30 % máx. (intermedia) 30 % máx. (base)			12% máx.	18% máx.	75/60 (rodadura) 75- (intermedia) 60- (base)	45 % min. (rodadura) 40 % min. (intermedia) 35 % min. (base)	0.45 min. (rodadura)					0.5 % máx.									
- Agregado grueso					12% máx.	18% máx.								0.5 % máx.									
- Agregado fino					12% máx.	18% máx.								0.5 % máx.									
- Gradación combinada					12% máx.	18% máx.								0.5 % máx.									
MEZCLA ABIERTA EN CALIENTE	35 % máx.	30 % máx.			12% máx.	18% máx.	75/60		0.45 min. (rodadura)				N.P.	50 % min.									
MEZCLA DENSA SEMIDENSA Y GRUESA EN CALIENTE	25 % máx. (rodadura) 35 % máx. (intermedia) 35 % máx. (base)	25 % máx. (rodadura) 30 % máx. (intermedia) 30 % máx. (base)			12% máx.	18% máx.	75/60 (rodadura) 75- (intermedia) 60- (base)	45 % min. (rodadura) 40 % min. (intermedia) 35 % min. (base)	0.45 min. (rodadura)						0.5 % máx.								
- Agregado grueso					12% máx.	18% máx.								0.5 % máx.									
- Agregado fino					12% máx.	18% máx.								0.5 % máx.									
- Gradación combinada					12% máx.	18% máx.								0.5 % máx.									
MEZCLA DRENANTE	25 % máx.	20 % máx.	75 % min		12% máx.	18% máx.	85/70	45 % min.	0.45 min.				N.P.	50 % min.									
MEZCLA DRENANTE	25 % máx.	20 % máx.	75 % min.		12% máx.	18% máx.	85/70	45 % min.	0.45 min.				N.P.	50 % min.									
MEZCLA DRENANTE	40 % máx. (en frío) 25 % máx. (en caliente)	30 % máx. (en frío) 25 % máx. (en caliente)	110 min		12% máx.	18% máx.	50- (mezcla) (en frío) 75/60 (mezcla) (en caliente)	35 % min. (en frío) 45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)					N.P.	0.5 % máx.								
RECUBRIMIENTO EXISTENTE (Material de adición)					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5 % máx.									
					12% máx.	18% máx.	75/60 (mezcla) (en caliente)	45 % min. (en caliente)	0.45 min. (en caliente)				N.P.	0.5									

Tabla 400.1 (c)  
Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas  
Nivel de tránsito NT3

TIPO DE TRATAMIENTO O MEZCLA	DESgaste LOS ANGELES	DESgaste MICRO-DEVAL	10% DE FINOS (KN)		PÉRDIDAS EN ENSAYO DE SOLIDIDAD		PARTICULAS FRACTURADAS MECANICAMENTE. (Agregado grueso) 1 cur/2 carras	ANGULARIDAD Método A (Agregado fino)	COEFICIENT. DE PULVERIZADO ACELERADO	Partículas planas y alargadas (Relat. 5:1)	I. P.	EQUIVALENT. DE ARENA	CONTENIDO DE IMPUREZAS (Agregado grueso)	ADHESIVIDAD				Pérdidas Cambio inmersión	
			Seco	Relación Húmedo/seco	Sulfato de sodio	Sulfato de magnesio								Riedel Wehber	Stripplin g	Barakja	Resistencia conservada 1mm Comp.		Resistencia conservada indirecta
NORMA INV.	E-218 E-219	E-238	E-224	E-224	E-220	E-220	E- 227	E-239	E-232	E-240	E-125 E-126	E-133	E-237	E-774	E-737	E-740	E-738	E-725	E-760
LECHADA ASFÁLTICA	25 % máx. 25 % máx. 35 % máx. 35 % máx.	20 % máx. 20 % máx. 25 % máx. 25 % máx.	E-224	E-224	E-220	E-220	E- 227	E-239	E-232	E-240	E-125 E-126	E-133	E-237	E-774	E-737	E-740	E-738	E-725	E-760
MEZCLA ABIERTA EN FRIO	25 % máx. 35 % máx. 35 % máx.	20 % máx. 20 % máx. 25 % máx. 25 % máx.	110 min. (rodadura) 90 min. (rodadura) 75 min. (base)	75 % mín. (rodadura) 75 % mín. (intermedia)	12% máx. 12% máx.	18% máx. 18% máx.	85/70 (rodadura) 75- (intermedia) 60- (base)	45 % mín. (rodadura) 40% mín. (intermedia) 35% mín. (base)	0,45 min. (rodadura)	10 % máx.	N.P.	50 % mín.	0,5 % máx.	4 min.	95 % mín.				
MEZCLA DENSA EN FRIO	25 % máx. (rodadura) 35 % máx. (rodadura) 35 % máx. (base)	20 % máx. (rodadura) 25 % máx. (rodadura) 25 % máx. (base)	110 min. (rodadura) 90 min. (rodadura) 75 min. (base)	75 % mín. (rodadura) 75 % mín. (rodadura) 75 % mín. (base)	12% máx. 12% máx.	18% máx. 18% máx.	85/70 (rodadura) 75- (intermedia) 60- (base)	45 % mín. (rodadura) 40% mín. (intermedia) 35% mín. (base)	0,45 min. (rodadura)	10 % máx.	N.P.	50 % mín.	0,5 % máx.						
-Agregado grueso																			
-Agregado fino																			
- Gradación combinada																			
MEZCLA ABIERTA EN CALIENTE	35 % máx.	25 % máx.	90 min.	75 % mín.	12% máx.	18% máx.	75- (intermedia)			10 % máx.	N.P.		0,5 % máx.						
MEZCLA DENSA, SEMIDENSA Y GRUESA EN CALIENTE	25 % máx. (rodadura) 35 % máx. (intermedia) 35 % máx. (base)	20 % máx. (rodadura) 25 % máx. (intermedia) 25 % máx. (base)	110 min. (rodadura) 90 min. (intermedia) 75 min. (base)	75 % mín. (rodadura) 75 % mín. (intermedia) 75 % mín. (base)	12% máx. 12% máx.	18% máx. 18% máx.	85/70 (rodadura) 75- (intermedia) 60- (base)	45 % mín. (rodadura) 40% mín. (intermedia) 35% mín. (base)	0,45 min. (rodadura)	10 % máx.	N.P.	50 % mín.	0,5 % máx.						
-Agregado grueso																			
-Agregado fino																			
- Gradación combinada																			
MEZCLA DISCONTINUA EN CALIENTE	25 % máx.	20 % máx.	110 min.	75 % mín.	12% máx.	18% máx.	85/70	45 % mín.	0,45 min.	10 % máx.	N.P.	50 % mín.	0,5 % máx.						
MEZCLA DREMANTE	25 % máx.	20 % máx.	110 min.	75 % mín.	12% máx.	18% máx.	85/70	45 % mín.	0,45 min.	10 % máx.	N.P.	50 % mín.	0,5 % máx.						
RECUBRIMIENTO DEL PAVIMENTO (Mezcla de tráfico)	40% máx. (en frío) 25 % máx. (en caliente)	25 % máx. (en frío) 20 % máx. (en caliente)	75 min. (en frío) 110 min. (en caliente)	75 % mín. (en frío) 75% mín. (en caliente)	12% máx. 12% máx.	18% máx. 18% máx.	50- (intermedia) 85/70 (en caliente)	35 % mín. (en frío) 45 % mín. (en caliente)	0,45 min. (en frío) 0,45 min. (en caliente)	10 % máx.	N.P.	50 % mín. (rodadura)	0,5 % máx. (rodadura)						
MEZCLA DE ALTO MÓDULO	25% máx.	20 % máx.	110 min.	75 % mín.	12 % máx.	18 % máx.	85/70	45 % mín.	0,45 min.	10 % máx.	N.P.	50 % mín.	0,5 % máx.						

El llenante mineral podrá provenir de los procesos de trituración y clasificación de los agregados pétreos o podrá ser de aporte como producto comercial, generalmente cal hidratada o cemento Portland. Su densidad aparente, determinada por el ensayo de sedimentación en tolueno (norma de ensayo INV E-225), se deberá encontrar entre cinco y ocho décimas de gramo por centímetro cúbico (0.5 y 0.8 g/cm<sup>3</sup>), excepto para el llenante mineral empleado en las elaboraciones de lechadas asfálticas, caso en el cual se deberá encontrar entre cinco y once décimas de gramo por centímetro cúbico (0.5 y 1.1 g/cm<sup>3</sup>).

El llenante mineral total de la fórmula de trabajo obtenida para diseños de mezclas asfálticas densas, semidensas y gruesas para proyectos con niveles de tránsito NT2 y NT3, deberá presentar un valor de vacíos en seco no menor de treinta y ocho por ciento (38%), según la norma de ensayo INV E-229. La mezcla de los agregados grueso y fino y el llenante mineral se deberá ajustar a las exigencias de la respectiva especificación, en cuanto a su granulometría.

#### 400.2.2 Cemento asfáltico

El cemento asfáltico a emplear en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será seleccionado en función de las características climáticas de la región y las condiciones de operación de la vía y, salvo justificación en contrario, corresponderá a los tipos indicados en la Tabla 400.2.

Tabla 400.2  
Tipo de cemento asfáltico por emplear en mezclas en caliente

TIPO DE CAPA	NT1			NT2			NT3		
	TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA DE LA REGIÓN (°C)								
	> 24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15
Rodadura e intermedia	60 – 70	60 – 70 u 80 – 100	80 – 100	60 – 70	60 – 70 u 80 – 100	80 – 100	60 – 70 o Tipo III	60 – 70 o Tipo II	80 – 100 o Tipo II
Base	–	–	–	60-70 u 80-100	60-70 u 80-100	80-100	60-70	60-70 u 80-100	80 – 100
Mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura	–	–	–	Tipo II o Tipo III					
Mezcla drenante	–	–	–	Tipo I o Tipo II					
Alto módulo	–	–	–	–	–	–	Tipo V	Tipo V	Tipo V

Notas:

- (1) Las denominaciones Tipo I, Tipo II, Tipo III y Tipo V corresponden a cementos asfálticos modificados con polímeros, según se define en el numeral 400.2.3
- (2) Para una temperatura menor de 15°C y tránsito NT3, el proyectista podrá recomendar un cemento asfáltico de grado de penetración 60 – 70, si considera que el tránsito es extremadamente agresivo. Bajo una consideración similar se puede emplear el cemento asfáltico modificado con polímeros Tipo III para el mismo nivel de tránsito y temperaturas de 24°C o menores.

Las especificaciones que debe cumplir el cemento asfáltico se indican en la Tabla 400.3

Tabla 400.3  
Especificaciones del cemento asfáltico

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	NORMA DE ENSAYO INV	GRADO DE PENETRACIÓN			
			60-70		80-100	
			Mín	Máx	Mín	Máx
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	0.1 mm	E-706	60	70	80	100
Índice de penetración	-	E-724	-1	+1	-1	+1
Viscosidad absoluta (60° C)	P	E-716 o E-717	1500	-	1000	-
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min)	cm	E-702	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno	%	E-713	99	-	99	-
Contenido de agua	%	E-704	-	0.2	-	0.2
Punto de ignición mediante copa abierta de Cleveland	°C	E-709	230	-	230	-
Pérdida de masa por calentamiento en película delgada en movimiento (163°C, 75 minutos).	%	E-720	-	1.0	-	1.0
Penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento (E-720), en % de la penetración original.	%	E-706	52	-	48	-
Incremento en el punto de ablandamiento luego de la pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento (E-720).	°C	E-712	-	5	-	5

#### 400.2.3 Cemento asfáltico modificado con polímeros

El cemento asfáltico modificado con polímeros se define como aquel ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y/o química de polímeros con un cemento asfáltico de los definidos en el numeral 400.2.2 del presente Artículo. Quedan comprendidos dentro de esta definición, los cementos asfálticos modificados suministrados a granel o los que se fabriquen en el lugar de empleo, en instalaciones específicas independientes. Se excluyen los obtenidos a partir de adiciones incorporadas a los agregados o en el mezclador de la planta asfáltica.

Las denominaciones y las características básicas de los cementos asfálticos modificados con polímeros, son las indicadas en la Tabla 400.4.

El Tipo I se basa en las propiedades de cementos asfálticos convencionales modificados con EVA o polietileno y se empleará en la elaboración de mezclas de tipo drenante.

Los Tipos II, III y IV se basan en las propiedades de cementos asfálticos convencionales modificados con copolímeros de bloque estirénico como el SBS. El Tipo II se aplicará en mezclas drenantes, discontinuas y densas, semidensas y gruesas en caliente en general; el Tipo III en mezclas discontinuas y densas, semidensas y gruesas en caliente en zonas de altas exigencias y el Tipo IV se utilizará en la elaboración de mezclas antirreflectivas de grietas del tipo arena asfalto o riegos en caliente para membranas de absorción de esfuerzos.

El Tipo V es un asfalto modificado de alta consistencia, recomendado para la manufactura de mezclas asfálticas de alto módulo.

Se podrán utilizar cementos asfálticos modificados con polímeros diferentes a los citados en este numeral, siempre que se cumplan las exigencias respectivas de la Tabla 400.4 para los diferentes tipos.

#### **400.2.4 Emulsiones asfálticas**

De acuerdo con la aplicación y según lo establezca la respectiva especificación, se utilizarán emulsiones catiónicas de rotura rápida, media o lenta, cuyas denominaciones y características básicas se presentan en la Tabla 400.5.

#### **400.2.5 Emulsiones asfálticas modificadas con polímeros**

Las emulsiones asfálticas que dan lugar a un residuo consistente en cemento asfáltico modificado con polímeros, serán catiónicas de rotura rápida, media o lenta y sus designaciones y características básicas son las especificadas en la Tabla 400.6.

#### **400.2.6 Asfalto líquido para imprimación**

El asfalto líquido para riegos de imprimación es el ligante hidrocarbonado resultante de incorporar a un cemento asfáltico fracciones líquidas, más o menos volátiles, procedentes de la destilación del petróleo, el cual se emplea en la protección de capas granulares no estabilizadas. Sus características básicas son las especificadas en la Tabla 400.7.

#### **400.2.7 Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el asfalto**

En caso de que los requisitos de adhesividad indicados en la Tabla 400.1 no sean satisfechos, no se permitirá el empleo del agregado pétreo, salvo que se incorpore un producto mejorador de adherencia, de calidad reconocida, en la proporción necesaria para satisfacerlos, la cual deberá ser aprobada por el Interventor. Los aditivos por emplear deberán ser recomendados y suministrados por el Constructor.

### **400.3 EQUIPO**

Todos los equipos empleados deberán ser compatibles con los procedimientos de construcción adoptados y requieren la aprobación previa del Interventor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de las obras y al cumplimiento de las exigencias de calidad del presente Artículo y del correspondiente a la respectiva partida de trabajo.

Tabla 400.4

Especificaciones de cementos asfálticos modificados con polímeros

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	NORMA DE ENSAYO INV	TIPO I		TIPO II		TIPO III		TIPO IV		TIPO V	
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
<b>Asfalto original</b>												
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	0.1 mm	E-706	55	70	55	70	55	70	80	130	15	40
Punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola	°C	E-712	58	-	58	-	65	-	60	-	65	-
Ductilidad (5°C, 5 cm/min)	cm	E-702	-	-	15	-	15	-	30	-	-	-
Recuperación elástica por torsión a 25°C	%	E-727	15	-	40	-	70	-	70	-	15	-
Estabilidad al almacenamiento (*) Diferencia en el punto de ablandamiento	°C	E-726 Y E-712	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5
Contenido de agua	%	E-704	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2
Punto de ignición mediante la copa abierta Cleveland	°C	E-709	230	-	230	-	230	-	230	-	230	-
<b>Residuo del ensayo de pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento (INV E-720)</b>												
Pérdida de masa	%	E-720		1	-	1	-	1	-	1	-	1
Penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento, % de la penetración original	%	E-706	65	-	65	-	65	-	60	-	70	-
Ductilidad (5°C, 5 cm/min)	cm	E-702	-	-	8	-	8	-	15	-	-	-

(\*) No se exigirá este requisito cuando los elementos de transporte y almacenamiento estén provistos de un sistema de homogeneización adecuado, aprobado por el Interventor



Tabla 400.6  
Especificaciones para emulsiones asfálticas modificadas con polímeros

ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN	UNIDAD	NORMA DE ENSAYO INV	ROTURA RÁPIDA				ROTURA MEDIA	ROTURA LENTA	
			CRR-1m		CRR-2m			CRM-m	CRL-1hm
			Mín	Máx.	Mín.	Máx.			
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C a 50°C	s s	E-763	- 20	- 100	- 20	- 300	- 20	- 450	- 100
Contenido de agua en volumen	%	E-761	-	40	-	35	-	35	-
Estabilidad en almacenamiento Sedimentación a los 7 días	%	E-764	-	5	-	5	-	5	-
Destilación									
Contenido de asfalto residual	%	E-762	60	-	65	-	60	-	57
Contenido de disolventes	%		-	3	-	3	-	12	0
Tamizado									
Retenido en tamiz N° 20 (850 µm)	%	E-765	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-
Rotura									
Dioctilsulfosuccinato sódico	%	E-766	40	-	40	-	-	-	-
Mezcla con cemento	%	E-770	-	-	-	-	-	-	2
Carga particulada		E-767	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva
pH		E-768	-	6	-	6	-	6	-
Recubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento									
Con agregado seco			-	-	Buena	-	-	-	-
Con agregado seco y acción del agua		E-769	-	-	Satisfactoria	-	-	-	-
Con agregado húmedo			-	-	Satisfactoria	-	-	-	-
Con agregado húmedo y acción del agua			-	-	Satisfactoria	-	-	-	-
<b>Ensayos sobre el residuo de evaporación</b>									
E-771									
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	0.1 mm	E-706	60 100	100 250	60 100	100 250	100	250	60 100
Punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola	°C	E-712	55 45	- -	55 45	- -	40	-	55 45
Ductilidad (5°C, 5 cm/min)	cm	E-702	10	-	10	-	10	-	10
Recuperación elástica por torsión 25°C.	%	E-727	12	-	12	-	12	-	12

Tabla 400.7  
Especificaciones del asfalto líquido para riegos de imprimación

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	NORMA DE ENSAYO INV	MC 30	
			mín	máx
Punto de inflamación (Copa abierta de Tag.)	° C	E-710	38	–
Viscosidad cinemática (60°C)	cSt	E-715	30	60
Viscosidad Saybolt Furol (25°C)	s	E-714	75	150
Destilación: Destilado (% sobre volumen total destilado hasta 360°C) :				
A 225°C	%	E-723	–	25
A 260°C	%		40	70
A 316°C	%		75	93
Residuo de destilación a 360°C (% en volumen por diferencia)	%	E-723	50	60
<b>Ensayo sobre el residuo de la destilación</b>				
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	0.1 mm	E-706	120	300
Ductilidad (25°C , 5 cm/minuto)	cm	E-702	100	–
Solubilidad en tricloroetileno	%	E-713	99.5	100

#### 400.4 EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

##### 400.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Las fuentes de materiales, así como los procedimientos y los equipos utilizados para la explotación de aquéllas y para la elaboración de los agregados requeridos, deberán tener aprobación previa del Interventor, la cual no implica necesariamente la aceptación posterior de los agregados que el Constructor suministre o elabore de tales fuentes, ni lo exime de la responsabilidad de cumplir con todos los requisitos de cada especificación.

Los procedimientos y equipos de explotación, clasificación, trituración, lavado, mezcla de fracciones para obtener una determinada granulometría y el sistema de almacenamiento, deberán garantizar el suministro de un producto de características uniformes. Si el Constructor no cumple con estos requerimientos, el Interventor exigirá los cambios que considere necesarios.

Todos los trabajos de clasificación de agregados y en especial la separación de partículas de tamaño mayor que el máximo especificado para cada gradación, se deberán ejecutar en el sitio de explotación o elaboración y no se permitirá efectuarlos en la vía.

En todos los casos, la explotación de materiales y el procesamiento y transporte de agregados se deberá atener a lo dispuesto en la legislación vigente en la materia ambiental, de seguridad y salud, de almacenamiento y de transporte de productos de construcción.

Siempre que las condiciones lo permitan, los suelos orgánicos existentes en la capa superior de las canteras deberán ser conservados para la posterior recuperación de las excavaciones y de la vegetación nativa. Al abandonar las canteras temporales, el Constructor deberá remodelar el terreno para recuperar las características hidrológicas superficiales de ellas.

#### **400.4.2 Fórmulas de trabajo para mezclas asfálticas, tratamientos superficiales y lechadas asfálticas**

Antes de iniciar el acopio de los agregados, el Constructor deberá suministrar, para verificación del Interventor, muestras de ellos y del producto bituminoso por emplear y de los eventuales aditivos, avaladas por los resultados de los ensayos de laboratorio que garanticen la conveniencia de emplearlos en el tratamiento o mezcla. Una vez el Interventor efectúe las comprobaciones que considere convenientes y dé su aprobación a los ingredientes, el Constructor definirá una "fórmula de trabajo" que obligatoriamente deberá cumplir las exigencias establecidas en la especificación correspondiente. En dicha fórmula se consignarán el tipo y las características del ligante asfáltico; la granulometría de cada uno de los agregados pétreos y las proporciones en que ellos deben ser mezclados, junto con el llenante mineral, para obtener la gradación aprobada, así como la granulometría de los agregados combinados.

En el caso de mezclas y lechadas asfálticas se deberán indicar, además, el porcentaje de ligante bituminoso en relación con el peso de la mezcla o de los agregados secos, y los porcentajes de aditivos, respecto del peso del ligante asfáltico, cuando su incorporación resulte necesaria. Si la mezcla es en frío y requiere la incorporación de agua, se deberá indicar la proporción de ésta.

En el caso de mezclas en caliente, también se deberán señalar:

- Los tiempos requeridos para la mezcla de agregados en seco y para la mezcla de los agregados con el ligante bituminoso.
- Las temperaturas máxima y mínima de calentamiento previo de los agregados y del ligante. En ningún caso se introducirán en el mezclador agregados pétreos a una temperatura que sea superior a la del ligante en más de quince grados Celsius (15 °C).
- Las temperaturas de mezcla con cemento asfáltico se deberán encontrar dentro del rango correspondiente a una viscosidad del asfalto entre ciento cincuenta y trescientos centistokes (150–300 cSt). Además, en el caso de asfaltos modificados con polímeros, en la temperatura de mezcla se tendrá en cuenta el rango recomendado por el fabricante.
- Las temperaturas máximas y mínimas al salir del mezclador dependerán del tipo de mezcla y de la planta en la cual ésta se elabore. La temperatura máxima de la mezcla al salir del mezclador no será mayor de ciento ochenta grados Celsius (180°C) en las plantas discontinuas, ni mayor de ciento sesenta y cinco grados Celsius (165°C) en las de tambor secador-mezclador. Esta temperatura podrá ser incrementada en diez grados Celsius (10°C) en el caso de las mezclas de alto módulo.
- La temperatura mínima de la mezcla en la descarga desde los elementos de transporte.
- Las temperaturas mínimas aceptables de la mezcla al inicio y a la terminación de la compactación.

Cuando se trate del diseño de una mezcla reciclada en caliente, la fórmula deberá señalar también:

- Proporciones en que se deben mezclar los materiales recuperados del pavimento y el agregado nuevo, así como la granulometría resultante de su mezcla, determinada por los tamices correspondientes a la franja granulométrica aprobada.
- Tipo y porcentaje de ligante bituminoso nuevo, en relación con el peso de la mezcla.
- Porcentaje requerido de agente rejuvenecedor, en relación con el peso del asfalto envejecido.
- Porcentaje requerido de aditivo mejorador de adherencia, en relación con el peso del ligante bituminoso nuevo.
- Las temperaturas máximas y mínimas de calentamiento previo de agregados, del pavimento recuperado, del asfalto nuevo y del agente rejuvenecedor. En ningún caso se podrá calentar el material por reciclar a una temperatura superior a la del ligante bituminoso de adición.

La mezcla diseñada con la fórmula de trabajo deberá ser verificada respecto de su sensibilidad ante la acción del agua, mediante los ensayos indicados en la Tabla 400.1.

Para algunas mezclas destinadas a capa de rodadura e intermedias se deberá verificar, también, su resistencia al ahuellamiento, con los ensayos y valores límites indicados en los Artículos correspondientes del Capítulo 4 de estas especificaciones. Esta verificación también se realizará a las mezclas de alto módulo.

Cuando se trate de tratamientos superficiales, el Constructor deberá informar al Interventor las dosificaciones de ligante asfáltico y de agregados pétreos para los distintos riegos, incluyendo la posible incorporación de aditivos.

Si se trata de lechadas asfálticas, tratamientos superficiales y mezclas en caliente destinadas a capa de rodadura, la respectiva fórmula de trabajo deberá asegurar el cumplimiento de las características de macrotextura superficial y resistencia al deslizamiento de la obra terminada, según lo establecido en cada uno de los Artículos correspondientes a dichas partidas de trabajo.

La fabricación de las mezclas asfálticas y la puesta en obra de ellas y de los tratamientos superficiales y lechadas asfálticas no se podrá iniciar hasta contar con la aprobación de la correspondiente fórmula de trabajo por parte del Interventor. La aprobación definitiva de la fórmula de trabajo por parte del Interventor no exime al Constructor de su plena responsabilidad de alcanzar, con base en ella, la calidad exigida por la respectiva especificación. La fórmula aprobada sólo se podrá modificar durante la ejecución de los trabajos, si las circunstancias lo aconsejan y previo el visto bueno del Interventor.

#### **400.4.3 Fase de experimentación en mezclas nuevas o recicladas, tratamientos y lechadas asfálticas**

Antes de iniciar los trabajos, el Constructor emprenderá una fase de experimentación para verificar el estado de los equipos y determinar, en secciones de ensayo de ancho y longitud definidas en acuerdo con el Interventor, los métodos definitivos de preparación, transporte, colocación,

compactación y eventual curado de la mezcla, lechada o tratamiento, así como las tasas de aplicación en obra, de manera que se cumplan los requisitos de la respectiva especificación.

En el caso de la construcción de lechadas asfálticas, el proceso no incluirá la etapa de compactación.

El Interventor tomará muestras del tratamiento, lechada o mezcla, para determinar su conformidad con las condiciones especificadas que correspondan en cuanto a granulometría, dosificación, densidad y demás requisitos.

En caso de que el trabajo elaborado no se ajuste a dichas condiciones, el Constructor deberá efectuar inmediatamente las correcciones requeridas en los equipos y sistemas o, si llega a ser necesario, en la fórmula de trabajo, repitiendo las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones.

El Interventor determinará si es aceptable la ejecución de los tramos de prueba como parte integrante de la obra en construcción.

En el caso de mezclas nuevas o recicladas, el Interventor establecerá, durante la fase de experimentación, correlaciones entre los métodos corrientes de control de la dosificación del ligante y de la densidad en el terreno y otros métodos rápidos de control.

En el caso de tratamientos superficiales, lechadas asfálticas y mezclas en frío, se definirán en esta fase sus tiempos de rotura y curado, con el fin de que se puedan tomar las provisiones necesarias en el control del tránsito público.

#### **400.4.4 Muestreo y ensayos**

El Constructor deberá permitir al Interventor la toma de todas las muestras que exigen estas especificaciones, para verificar su conformidad con los requisitos impuestos en ellas.

Siempre que los ensayos den resultados no satisfactorios, el Constructor será el responsable de las consecuencias que se deriven de ello, y todas las correcciones o reparaciones a que haya lugar correrán a su exclusivo costo.

#### **400.4.5 Transporte de materiales**

En aquellos casos en que el transporte de materiales pueda perjudicar la obra en ejecución, el Constructor deberá construir, por cuenta y cargo suyo, los desvíos necesarios.

#### **400.4.6 Desvíos**

Los desvíos que sea necesario construir durante la ejecución de las obras deberán permitir la circulación de los equipos al servicio de la obra y el tránsito público en forma segura y sin inconvenientes. Cuando a juicio del Interventor su construcción no resulte práctica, podrá autorizar las operaciones constructivas por medias calzadas.

En todos los casos, el Constructor está obligado a colocar y mantener el personal y las señales necesarias para guiar el tránsito, de conformidad con lo que establece el Manual de Señalización

Vial del Ministerio de Transporte. En caso de que no se cumplan estas condiciones, el Interventor prohibirá la ejecución de trabajos en las zonas afectadas.

#### **400.4.7 Manejo ambiental**

Todas las labores referentes a las actividades que son objeto de los Artículos del Capítulo 4 de estas Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras se deberán realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las disposiciones vigentes sobre la conservación del medio ambiente y de los recursos naturales.

Estas actividades implican el manejo de ligantes asfálticos, agregados pétreos y los tratamientos o mezclas elaboradas con ellos. Algunos de los cuidados relevantes en relación con la protección ambiental se describen a continuación, sin perjuicio de los que exijan los documentos de cada proyecto particular o la legislación ambiental vigente.

En caso de contradicciones con lo indicado en el presente numeral prevalecerán, en su orden, la legislación ambiental y lo indicado en los documentos del proyecto.

##### **400.4.7.1 Ligante**

- Sus depósitos se deberán localizar en lugares apartados de cursos o láminas de agua.
- Alrededor de los depósitos se deberán construir diques de contención para evitar la propagación de derrames accidentales.
- Los residuos de los carrotaques no podrán ser vertidos en la zona de derecho de vía, en estructuras de drenaje o en cauces o láminas de agua.
- En caso de vertimiento accidental del asfalto empleado en la ejecución de algún riego, dicho material deberá ser recogido, incluyendo el suelo contaminado, y dispuestos en sitios de vertimiento construidos para tal fin y aprobados ambientalmente.
- Se deberá evitar el sobrecalentamiento del producto en las plantas de mezcla en caliente.
- Los obreros que laboren en el transporte y disposición del asfalto deberán ser dotados de los equipos apropiados de seguridad industrial.

##### **400.4.7.2 Explotación y procesamiento de agregados pétreos**

- No se permitirá la explotación de fuentes de materiales en áreas de preservación ambiental.
- Se preferirá la extracción de fuentes explotadas para el abastecimiento de obras anteriores, siempre que la calidad de sus materiales sea adecuada.
- Se deberá planear adecuadamente la explotación de la fuente, de manera de minimizar los impactos resultantes del proceso y facilitar la recuperación ambiental al término de la explotación.

- Si los agregados se obtienen de fuentes comerciales, el Interventor sólo aceptará su uso después de que el Constructor le haga entrega de una copia auténtica de la respectiva licencia ambiental de operación.
- Antes de iniciar la explotación de las fuentes, el Constructor presentará al Interventor, para su evaluación y eventual aprobación, un plan de explotación.
- No está permitida la quema como forma de desmonte del área por explotar.
- Se deberá retirar cuidadosamente la capa vegetal de las zonas de explotación y mantenerla en buenas condiciones, para recuperarlas al término de la explotación.
- Se deberán limitar al mínimo el desmonte, la limpieza y el descapote durante la construcción de las instalaciones de trituración y clasificación y la planta asfáltica.
- Si se deben interceptar drenajes naturales, ellos deberán ser adecuadamente canalizados.
- Siempre que se requiera lavado durante el proceso de producción de agregados, los residuos que genera esta operación deberán ser conducidos a piscinas de sedimentación.
- Tanto en las plantas de trituración como en las asfálticas, se deberá realizar un seguimiento permanente al componente atmosférico durante su operación.
- El manejo de explosivos deberá ser realizado por un experto.
- Los niveles de ruido y polvo causados por los procesos de explotación y procesamiento de los agregados deberán ser mantenidos dentro de los límites admitidos por las disposiciones oficiales vigentes.
- Se deberá procurar que las instalaciones de trituración y la planta asfáltica queden ubicadas en el mismo lote. Dichas instalaciones no se podrán situar en sitios ecológicamente sensibles, áreas con presencia de especies bióticas protegidas o en peligro de extinción, lugares con nivel freático cercano a la superficie o zonas con riesgo alto de inestabilidad geotécnica. El área deberá ser aislada con malla o lonas para reducir la dispersión de materiales.
- El vertimiento de cualquier desperdicio sólido a cauces o láminas de agua está prohibido.
- El horario nocturno de trabajo deberá ser limitado para no alterar la tranquilidad de la zona, en particular si las instalaciones están ubicadas cerca de zonas habitadas. Esta exigencia es también válida para la planta asfáltica y los trabajos mismos de construcción en la vía.
- Junto a las instalaciones de trituración se deberán construir piscinas de sedimentación para la retención del polvo mineral que se pueda producir en exceso.
- Al concluir la fase de explotación de las fuentes, el Constructor deberá readecuar los relieves del área, dejando los taludes con inclinaciones similares a las del entorno y con sus bordes superiores redondeados y realizará la recuperación del sistema de drenaje del lugar.

- Al desocupar las áreas de explotación y procesamiento, el Constructor deberá retirar todos los vestigios de ocupación del lugar, tales como estructuras, pisos, caminos internos, estacionamientos, escombros, etc. Así mismo, deberá descompactar los suelos y restaurar la vegetación y el paisaje.

#### **400.4.7.3 Plantas de mezcla en general**

- Ninguna planta de mezcla se podrá instalar a menos de doscientos metros (200 m), medidos desde el mezclador, de residencias, clínicas, colegios, y otras construcciones comunitarias.
- Las plantas no se podrán operar sin las licencias requeridas y, durante el desarrollo de los trabajos, se deberán mantener en condiciones de operación dentro de lo prescrito en dichas licencias y en estas especificaciones.
- La planta deberá contar con un sistema apropiado de control de polución de aire, conforme con los patrones establecidos en la legislación vigente.
- Los sitios de acopio de los agregados fríos deberán disponer de cobertura y de protecciones laterales para evitar la generación de emisiones fugitivas durante las operaciones de carga y descarga.
- La banda transportadora de los agregados fríos deberá ser protegida contra la acción del viento.
- Se deberán implementar procedimientos que permitan que la alimentación al mezclador (mezclas en frío) o al secador (mezclas en caliente) se realice sin emisiones visibles a la atmósfera.
- Se deberán mantener limpias las vías internas de acceso a la planta.
- Se deberán mantener en buenas condiciones todos los equipos de proceso y de control.
- Las instalaciones deberán contar con una señalización adecuada para el tránsito que circule dentro de ellas.

#### **400.4.7.4 Plantas de mezcla en caliente**

- Se deberán operar con un combustible ambientalmente autorizado.
- Se deberá mantener la presión negativa en el tambor secador cuando la planta esté en operación, para evitar emisiones de partículas a la entrada y a la salida de ésta.
- En las plantas discontinuas, se deberán dotar al sistema de clasificación en caliente y al mezclador, de sistemas de escape hacia los dispositivos de control de polución de aire, para evitar la emisión de vapores y partículas a la atmósfera.
- Los silos de almacenamiento del llenante mineral deberán disponer de un sistema propio de filtración en seco.

- Se deberán adoptar procedimientos operacionales que eviten la emisión de partículas provenientes de los sistemas de limpieza de los filtros de mangas y de reciclado del polvo mineral.

#### **400.4.7.5 Transporte de agregados y mezclas**

- Cuando viajen cargados, los vehículos deberán tener un cobertor adecuado, debidamente asegurado, que impida el vertido de la carga sobre las vías por las que circulan.
- Los vehículos deberán tener al día los certificados sobre emisiones de gases.
- Antes de entrar a vías pavimentadas, se deberán limpiar cuidadosamente las llantas de los vehículos. Los materiales resultantes de dicha limpieza no podrán ser arrojados a la zona de derecho de vía, ni a cursos de agua, ni a estructuras de drenaje superficial.

#### **400.4.7.6 Transporte de materiales contaminantes o peligrosos**

- Los materiales tales como combustibles, lubricantes, explosivos, asfaltos, aguas servidas no tratadas, desechos y basuras se deberán transportar y almacenar adoptando las medidas necesarias para evitar derrames, pérdidas o daños por lluvias, hurtos o incendios.
- Los vehículos que transportan estos elementos deberán tener vigente su certificado sobre emisión de gases a la atmósfera.

#### **400.4.7.7 Ejecución de riegos**

- Se deberá vigilar la viscosidad del ligante, para impedir que el riego fluya hacia las cunetas y zonas ajenas a la superficie por tratar.
- Los tratamientos superficiales terminados deberán ser barridos adecuadamente para eliminar partículas sueltas, las cuales pueden ser proyectadas peligrosamente por las llantas hacia otros vehículos o hacia las zonas aledañas a la vía.
- Tanto cuando se construyan riegos como capas de mezcla, las operaciones de limpieza inherentes a cada actividad sólo se podrán efectuar con escobas o sopladores mecánicos, cuando ello esté permitido por la autoridad ambiental competente.

#### **400.4.7.8 Extensión y compactación de mezclas**

- Se deberán implementar medidas de seguridad industrial para proteger al personal durante las operaciones de extensión y compactación de mezclas en caliente.
- Se deberá implementar un plan de control del tránsito, si las operaciones se desarrollan con la vía abierta al tránsito público.
- No se permitirá la disposición de residuos en las zonas aledañas a la superficie pavimentada.

#### **400.4.7.9 Fresado de pavimentos asfálticos**

- Se deberá implementar un plan para el control y ordenamiento del tránsito automotor durante el desarrollo de los trabajos.
- La superficie fresada deberá ser cubierta a la mayor brevedad, para corregir el impacto por generación de ruido.
- Los materiales fresados deberán ser transportados en vehículos con sus certificados de emisión de gases al día y serán depositados en vertederos que tengan debida licencia para su funcionamiento.
- Se deberá evitar la contaminación del material fresado con suelos u otros materiales extraños.
- La operación de barrido de la superficie fresada no podrá causar molestias por producción de polvo, a las personas y bienes vecinos a la vía.

#### **400.4.7.10 Reciclado de pavimentos asfálticos**

- Se deberá implementar un plan de control y ordenamiento del tránsito automotor durante el desarrollo de los trabajos de reciclado en el lugar.
- Los materiales que resulten descartados del proceso deberán ser conducidos a vertederos apropiados.
- Si en el proceso de reciclado en el lugar se incorporan estabilizantes en polvo, se deberán tomar medidas para evitar las molestias que pueda causar su dispersión por la acción del viento.
- Para los reciclados en planta en caliente resultan aplicables los cuidados indicados en el numeral 400.4.7.4.

### **400.5 CONDICIONES PARA EL RECIBO DE LOS TRABAJOS**

#### **400.5.1 Controles**

Durante la ejecución de los trabajos, el Interventor adelantará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado por el Constructor.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan todos los requisitos de calidad exigidos en el numeral 400.2 de este Artículo y en la especificación correspondiente a la partida de trabajo respectiva.
- Evaluar las fórmulas de trabajo presentadas por el Constructor y aprobarlas cuando corresponda.
- Verificar el acatamiento de todas las medidas requeridas sobre seguridad y medio ambiente.

- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado como resultado de la fase de experimentación, en cuanto a la elaboración y manejo de los agregados, así como la manufactura, transporte, colocación y compactación de los tratamientos y mezclas asfálticas.
- Ejecutar ensayos de control de mezcla, de densidad de las probetas y de las mezclas de referencia, de densidad de la mezcla asfáltica compactada in situ, de extracción de asfalto y granulometría; así como controlar las temperaturas de mezclado, descarga, extendido y compactación de las mezclas (los requisitos de temperatura son aplicables sólo a las mezclas elaboradas en caliente).
- Efectuar ensayos de control de mezcla, tasa de aplicación, extracción de asfalto y granulometría en lechadas asfálticas.
- Ejecutar ensayos para verificar las dosificaciones de agregados y ligante en tratamientos superficiales, así como la granulometría de aquellos.
- Efectuar ensayos para verificar las dosificaciones del ligante en riegos de liga y curado e imprimaciones.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados y de las mezclas o lechadas asfálticas, durante el período de ejecución de las obras.
- Efectuar pruebas para verificar la eficiencia de los productos mejoradores de adherencia, siempre que ellos se incorporen.
- Realizar las medidas necesarias para determinar espesores, levantar perfiles, medir la textura superficial y la resistencia al deslizamiento y comprobar la uniformidad de la superficie, siempre que ello corresponda.

La toma de muestras para la ejecución de los diferentes ensayos de control, se adelantará de acuerdo con las siguientes normas de ensayo INV: E-201 para agregados pétreos y llenantes minerales, E-701 para materiales bituminosos y E-731 para mezclas asfálticas.

El Constructor rellenará con mezcla asfáltica, de la misma calidad de la extraída, a su costa, todos los orificios realizados con el fin de medir densidades en el terreno y compactará el material de manera que su densidad cumpla con los requisitos indicados en la respectiva especificación.

También cubrirá, sin costo para el Instituto Nacional de Vías, las áreas en las que el Interventor efectúe verificaciones de la dosificación de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales y lechadas asfálticas.

#### **400.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias**

Tanto las condiciones específicas de recibo como las tolerancias para las obras ejecutadas, se indican en los Artículos correspondientes a las respectivas partidas de trabajo. Todos los ensayos y mediciones requeridos para el recibo de los trabajos especificados, estarán a cargo del Interventor, salvo que el Pliego de Condiciones del contrato establezca lo contrario.

Aquellas áreas donde los defectos de calidad y las irregularidades excedan las tolerancias, deberán ser corregidas por el Constructor, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a satisfacción de éste.

#### **400.6 MEDIDA**

##### **400.6.1 Ejecución de riegos de imprimación y liga, tratamientos superficiales, sellos de arena- asfalto y lechadas asfálticas.**

La unidad de medida será el metro cuadrado ( $m^2$ ), aproximado al entero, de todo trabajo ejecutado a satisfacción del Interventor, de acuerdo con lo exigido por la especificación respectiva. El área se determinará multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje del trabajo, por el ancho especificado en los planos u ordenado por el Interventor. No se medirá ningún área por fuera de tales límites.

Cuando el cómputo de la fracción decimal de la obra aceptada resulte mayor o igual a cinco décimas de metro cuadrado ( $\geq 0.5 m^2$ ), la aproximación al entero se realizará por exceso y si resulta menor de cinco décimas de metro cuadrado ( $< 0.5 m^2$ ), la aproximación se realizará por defecto.

No habrá lugar a medida, para efecto de pago separado, del riego de curado que se aplique sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, con el fin de brindar impermeabilidad a toda su superficie.

##### **400.6.2 Ejecución de mezclas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos**

La unidad de medida será el metro cúbico ( $m^3$ ) aproximado al décimo de metro cúbico, de mezcla elaborada, suministrada y compactada en obra a satisfacción del Interventor, de acuerdo con lo exigido en la especificación respectiva.

El volumen se determinará multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje del trabajo, por el ancho y espesor especificados en los planos u ordenados por el Interventor. No se medirá ningún volumen por fuera de tales límites.

Cuando el cómputo de la fracción centesimal del volumen de la obra aceptada resulte mayor o igual a cinco centésimas de metro cúbico ( $\geq 0.05 m^3$ ) la aproximación a la décima se realizará por exceso y cuando sea menor de cinco centésimas de metro cúbico ( $< 0.05 m^3$ ), la aproximación se realizará por defecto.

##### **400.6.3 Ejecución de bacheos con mezcla asfáltica**

La unidad de medida será el metro cúbico ( $m^3$ ) aproximado al décimo de metro cúbico, de bacheo con mezcla asfáltica ejecutado a satisfacción del Interventor, de acuerdo con lo exigido en la especificación respectiva.

El volumen se determinará multiplicando la superficie en donde el Interventor haya autorizado el trabajo, por el espesor compacto promedio en que se haya colocado la mezcla, de acuerdo con la especificación respectiva. No se medirá ningún volumen por fuera de tales límites.

Cuando el cómputo de la fracción centesimal del volumen de la obra aceptada resulte mayor o igual a cinco centésimas de metro cúbico ( $\geq 0.05 \text{ m}^3$ ) la aproximación a la décima se realizará por exceso y cuando sea menor de cinco centésimas de metro cúbico ( $< 0.05 \text{ m}^3$ ) la aproximación se realizará por defecto.

#### **400.7 FORMA DE PAGO**

##### **400.7.1 Ejecución de riegos de imprimación y liga, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto y lechadas asfálticas.**

El pago se hará al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado ( $\text{m}^2$ ), para toda obra ejecutada de acuerdo con la respectiva especificación y aceptada a satisfacción por el Interventor.

En los casos en que el trabajo incluya el empleo de agregados pétreos, el precio unitario deberá cubrir todos los costos de su adquisición, obtención de todos los permisos y derechos de explotación o alquiler de fuentes de materiales y canteras; la obtención de licencias ambientales, las instalaciones provisionales, los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes y canteras; la preparación de las zonas por explotar, así como todos los costos relacionados con la explotación, selección, trituración, eventual lavado, suministro de los materiales pétreos, desperdicios, cargues, transportes, descargues, clasificación, colocación, mezcla (en el caso de lechadas asfálticas), extensión y compactación de los materiales utilizados, en los casos en que ello corresponda.

También, deberá incluir los costos de adecuación paisajística de las fuentes para recuperar las características hidrológicas superficiales al terminar su explotación y demás requisitos establecidos en el Artículo 106 “Aspectos Ambientales” de las presentes especificaciones y en la normativa ambiental vigente; así como los costos de la definición de la fórmula de trabajo cuando se requiera; los de la fase de experimentación; los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con las instrucciones del Interventor.

En relación con los explosivos, el Constructor deberá considerar dentro del respectivo precio unitario todos los costos que implican su adquisición, transporte, escoltas, almacenamiento, vigilancia, manejo y control hasta el sitio e instante de utilización.

La preparación de la superficie existente, salvo el barrido y soplado, se considera incluida en el ítem referente a la ejecución de la capa a la cual corresponde dicha superficie y, por lo tanto, no habrá lugar a pago separado por este concepto, a no ser que dicho ítem no haga parte del mismo contrato, caso en el cual el Constructor deberá considerar el costo de la preparación de la superficie existente dentro del ítem objeto del pago.

En el caso de riegos de liga que se deban colocar sobre una capa cubierta por un riego de curado, el precio unitario del riego de liga deberá incluir el costo de todas las operaciones necesarias para la eliminación del riego de curado.

En todos los casos, el precio unitario deberá incluir el barrido y soplado de la superficie; el suministro en el sitio, almacenamiento, desperdicios y aplicación de los materiales bituminosos,

modificadores, agua y aditivos mejoradores de adherencia y de control de rotura que se requieran; la protección de todos los elementos aledaños a la zona de los trabajos y que sean susceptibles de ser manchados por los riegos de asfalto, así como toda labor, mano de obra, equipo o material necesarios para la correcta ejecución de los trabajos especificados; y los costos de administración, imprevistos y la utilidad del Constructor.

Se exceptúa el costo de suministro, almacenamiento, desperdicios y aplicación de materiales bituminosos en las paredes de la excavación y la superficie sobre la que ha de colocarse mezcla asfáltica en operaciones de bacheo, el cual se deberá incluir dentro del precio unitario de dicha mezcla.

#### **400.7.2 Ejecución de mezclas en frío y en caliente y bacheos con mezcla asfáltica**

El pago se hará al respectivo precio unitario del contrato, por metro cúbico (m<sup>3</sup>), para toda obra ejecutada de acuerdo con la respectiva especificación y aceptada a satisfacción por el Interventor.

El precio unitario deberá incluir todos los costos de adquisición, obtención de todos los permisos y derechos de explotación o alquiler de fuentes de materiales y canteras; obtención de licencias ambientales para la explotación de los agregados y la elaboración de las mezclas; las instalaciones provisionales, los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes y canteras; la preparación de las zonas por explotar, así como todos los costos relacionados con la explotación, selección, trituración, eventual lavado, suministro de los materiales pétreos y llenante mineral, desperdicios, elaboración de las mezclas, almacenamientos, cargues, transportes y descargues de agregados y mezclas; así como la colocación, nivelación y compactación de las mezclas elaboradas.

En el caso de mezclas en frío, el precio unitario deberá incluir, también, los costos de extracción, bombeo, transporte, suministro y aplicación del agua requerida, así como el curado de las mezclas compactadas.

El precio unitario deberá incluir, además, los costos de adecuación paisajística de las fuentes para recuperar las características hidrológicas superficiales al terminar su explotación y demás requisitos establecidos en el Artículo 106 “Aspectos Ambientales” de las presentes especificaciones y en la normativa ambiental vigente; así como los costos de la definición de la fórmula de trabajo, de la fase de experimentación y la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período adicional que fije el Interventor, así como los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras.

En relación con los explosivos, el Constructor deberá considerar dentro del respectivo precio unitario todos los costos que implican su adquisición, transporte, escoltas, almacenamiento, vigilancia, manejo y control hasta el sitio e instante de utilización.

Con excepción del barrido y soplado de la superficie, se considera que la preparación de la superficie existente se encuentra incluida dentro del ítem referente a la ejecución de la capa a la cual corresponde dicha superficie y, por lo tanto, no habrá lugar a pago separado por este concepto, a no ser que dicho ítem no haga parte del mismo contrato, caso en el cual el Constructor deberá considerar el costo de la preparación de la superficie existente dentro del ítem objeto del pago.

El precio unitario también deberá incluir el barrido y soplado de la superficie; el suministro y aplicación del asfalto para la pintura de adherencia en las juntas del pavimento y en las caras

verticales y la superficie sobre la cual se colocará mezcla asfáltica durante el relleno de las excavaciones para reparación del pavimento existente (bacheo) y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de la capa respectiva, así como los costos de administración, imprevistos y la utilidad del Constructor.

En las mezclas asfálticas que se elaboren en caliente, salvo las contempladas en el Artículo 451, el precio unitario deberá incluir, también, los costos por el registro fotográfico infrarrojo para establecer las temperaturas de colocación y compactación de las mezclas en obra.

Se excluyen del precio unitario el suministro y el almacenamiento del producto asfáltico para la mezcla, los cuales se pagarán de acuerdo con la especificación referente a dicho producto. En caso de que se requieran aditivos mejoradores de adherencia o modificadores diferentes de los polímeros definidos en el numeral 400.2.3, su costo deberá estar incluido dentro del precio unitario de la mezcla.

Las excavaciones para la reparación de un pavimento asfáltico existente se pagarán de acuerdo con el Artículo 465 de las presentes especificaciones.

#### **400.7.3 Ejecución de reciclado de pavimentos asfálticos**

El pago se hará al precio unitario del contrato, por metro cúbico (m<sup>3</sup>), por toda obra ejecutada de acuerdo con la respectiva especificación y aceptada a satisfacción por el Interventor.

En los casos en que el trabajo requiera la incorporación de agregados pétreos nuevos, el precio unitario deberá incluir todos los costos de adquisición, obtención de todos los permisos y derechos de explotación o alquiler de fuentes de materiales y canteras; obtención de licencias ambientales para la explotación de los agregados y la elaboración de las mezclas; las instalaciones provisionales, los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes y canteras; la preparación de las zonas por explotar, así como todos los costos relacionados con la explotación, selección, trituración, eventual lavado, cargues, transportes, descargues, suministro y mezcla de los agregados pétreos en el sitio de las obras y los eventuales desperdicios.

En el caso de reciclado de pavimentos en frío, el precio unitario deberá incluir todos los costos por concepto de cortar y disgregar las capas asfálticas y granulares. También, deberá incluir todos los costos de la extracción, bombeo, transporte, suministro, aplicación y mezcla del agua requerida, según se haya definido en la fórmula de trabajo, o la eventual aireación de la mezcla preparada; así como los del suministro e incorporación de los mejoradores de adherencia y de los controladores de rotura de la emulsión asfáltica; los de la aplicación y mezcla del agente de reciclado y de los demás elementos de aporte, incluyendo el calentamiento del cemento asfáltico en el caso de reciclados del tipo asfalto espumado; la extensión de la mezcla elaborada, su nivelación, compactación y perfilado y el suministro y aplicación de la emulsión y arena requeridas para los riegos de curado y su barrido; el retiro y disposición final de sobretamaños y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del reciclado en frío del pavimento.

Se excluyen del precio unitario del reciclado de pavimentos en frío en el lugar, los costos referentes a la demolición parcial y posterior reconstrucción de las estructuras de servicios públicos que requieran este tratamiento, según lo indicado en el numeral 461.4.4 del Artículo 461. La ejecución de estos trabajos se pagará de acuerdo con la especificación particular respectiva.

En el caso de reciclado de pavimentos en planta y en caliente, el precio unitario deberá incluir los costos de acopio, tratamiento y caracterización de los materiales fresados por reciclar; los de fabricación de la mezcla reciclada en caliente; los de almacenamientos eventuales de la mezcla elaborada y los de su transporte, descarga, extensión, nivelación y compactación en obra, así como los que implique el registro fotográfico infrarrojo para dejar constancia de las temperaturas de colocación y compactación de la mezcla.

El precio unitario del reciclado de pavimentos en planta y en caliente deberá incluir, también, todos los costos de suministro e incorporación en la mezcla del llenante mineral y de los mejoradores de adherencia que se requieran de acuerdo con lo que establezca la fórmula de trabajo mencionada en el numeral 400.4.2 y los de incorporación del cemento asfáltico nuevo y de los agentes rejuvenecedores que sean necesarios para recuperar las propiedades del asfalto incluido en la mezcla disgregada; así como los correspondientes a cargues, almacenamiento, transportes, descargues, desperdicios, extensión y compactación de la mezcla reciclada; y el suministro y aplicación del asfalto para la pintura de adherencia en las juntas del pavimento y en las caras verticales y la superficie sobre la cual se colocará mezcla asfáltica reciclada en caliente durante el relleno de las excavaciones para reparación del pavimento existente (bacheo) y, en general, todo costo relacionado con la correcta y completa ejecución del trabajo especificado en el Artículo 462.

Se excluyen del precio unitario del reciclado de pavimentos asfálticos en planta y en caliente todos los costos por concepto de disgregar las capas asfálticas en el espesor indicado en los documentos del proyecto u ordenado por el Interventor, así como su cargue, transporte y disposición en los sitios de acopio aprobados, los cuales se pagarán con cargo al Artículo 460, “Fresado de Pavimentos Asfálticos”.

Formarán parte del precio unitario, tanto de los reciclados en frío como en caliente, los costos de la definición de la fórmula de trabajo, los de la fase de experimentación y los de la adecuación paisajística de las fuentes que se hayan explotado para la obtención de los agregados nuevos, de manera de recuperar las características hidrológicas superficiales al terminar su explotación y demás requisitos establecidos en el Artículo 106 “Aspectos Ambientales” de las presentes especificaciones y en la normativa ambiental vigente; también, todos los costos relacionados con la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos y el período adicional que fije el Interventor; los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; así como los costos de administración e imprevistos y la utilidad del Constructor.

En relación con los explosivos, resulta aplicable todo lo pertinente del numeral 400.7.2 del presente Artículo.

En los reciclados con productos bituminosos, se excluye del precio unitario el suministro del cemento asfáltico o la emulsión asfáltica, el cual se pagará de acuerdo con lo que establecen los Artículos 410 y 411, respectivamente, de las presentes especificaciones. También, se excluyen el costo del suministro de los elementos de aporte (puzolanas) citados en el numeral 461.2.3 del Artículo 461 para el reciclado en frío y el del rejuvenecedor del asfalto para el reciclado de mezclas en caliente, cuando éste se requiera, los cuales se pagarán de acuerdo con las especificaciones particulares respectivas.

En los reciclados que empleen ligantes hidráulicos, se excluye del precio unitario el suministro del agente de reciclado, el cual se pagará de acuerdo con lo que establezca la especificación particular que corresponda.

Las excavaciones requeridas para la reparación del pavimento existente, se pagarán de acuerdo con el Artículo 465 de las presentes especificaciones.

## **ARTÍCULO 453 - 07**

### **MEZCLA DRENANTE**

#### **453.1 DESCRIPCIÓN**

Este trabajo consiste en la elaboración, transporte, colocación y compactación de una capa de mezcla asfáltica de tipo drenante, preparada y colocada en caliente, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos o determinados por el Interventor.

#### **453.2 MATERIALES**

##### **453.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral**

Los agregados pétreos y el llenante mineral para la elaboración de mezclas drenantes deberán satisfacer los requisitos de calidad impuestos para ellos en el numeral 400.2.1 del Artículo 400.

Los agregados pétreos no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente se puedan dar en la zona de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento, o contaminar corrientes de agua.

El Constructor, como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos, deberá realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad de los agregados por utilizar, independiente y complementariamente de los que taxativamente se exigen en estas especificaciones.

El equivalente de arena que se exige en la Tabla 400.1 será el del agregado finalmente obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones (incluido el llenante mineral), según las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo y antes de pasar por el secador de la planta mezcladora. En caso de que no se cumpla el valor mínimo señalado en la Tabla 400.1, el agregado se aceptará si su equivalente de arena, medido en las mismas condiciones, es superior a 40 y, simultáneamente, el valor de azul de metileno, determinado mediante la norma de ensayo INV E-235, es inferior a diez (10).

El agregado fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no podrá exceder del quince por ciento (15 %) de la masa total del agregado combinado, cuando el tránsito sea NT3, ni exceder de veinticinco por ciento (25 %) para tránsitos de menor intensidad. En todo caso, la proporción de agregado fino no triturado no podrá exceder la del agregado fino triturado empleado en la mezcla.

El llenante mineral podrá proceder de los agregados pétreos, separándose de ellos por medio de los ciclones de la planta mezcladora, o aportarse a la mezcla por separado de aquellos como un producto comercial o especialmente preparado para este fin. La proporción de llenante mineral de aporte deberá ser como mínimo de cincuenta por ciento (50 %) respecto de la masa del llenante

total, excluido el que inevitablemente quede adherido a los agregados. Este último, no podrá exceder de dos por ciento (2%) de la masa de la mezcla, salvo que el Interventor confirme que cumple las mismas condiciones que el exigido como aporte.

El conjunto de agregado grueso, agregado fino y llenante mineral deberá ajustarse a la gradación indicada en la Tabla 453.1.

Tabla 453.1  
Franja granulométrica para mezcla drenante

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	MD-1
19.0 mm	3/4"	100
12.5 mm	1/2"	70-100
9.5 mm	3/8"	50-75
4.75 mm	No.4	15-32
2.00 mm	No.10	9-20
425 µm	No.40	5-12
75 µm	No.200	3-7

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa.

#### 453.2.2 Material bituminoso

El material bituminoso para elaborar la mezcla drenante será cemento asfáltico modificado con polímeros, que corresponda a los tipos I o II de la Tabla 400.4 del Artículo 400. El tipo por utilizar, será el indicado en los documentos técnicos del proyecto.

#### 453.2.3 Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el asfalto

Cuando se requieran, se deberán ajustar a lo descrito en el numeral 400.2.7 del Artículo 400 y en el Artículo 412 de las presentes especificaciones. La dosificación y dispersión homogénea del aditivo, deberán tener la aprobación del Interventor.

El Constructor deberá garantizar que su incorporación no producirá ningún efecto nocivo a los agregados, al ligante asfáltico o a la mezcla. Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento, que se derive del empleo del aditivo, será de responsabilidad exclusiva del Constructor, quien deberá efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a satisfacción de éste.

### **453.3 EQUIPO**

Al respecto, se aplica lo indicado en el numeral 400.3 del Artículo 400. En relación con el detalle del equipo necesario para la ejecución de los trabajos, se tendrá en cuenta lo que se indica a continuación.

#### **453.3.1 Equipo para la elaboración de los agregados triturados**

Rige lo indicado en el numeral 440.3.1 del Artículo 440.

#### **453.3.2 Planta mezcladora**

En relación con la planta mezcladora, se aplica todo lo indicado en el numeral 450.3.2 del Artículo 450.

#### **453.3.3 Equipo para el transporte de agregados y mezclas**

Se aplica todo lo indicado en el numeral 450.3.3 del Artículo 450.

#### **453.3.4 Equipo para la transferencia de la mezcla (Shuttle buggy)**

Rige lo descrito en el numeral 450.3.4 del Artículo 450.

#### **453.3.5 Equipo para la extensión de la mezcla**

Rige lo indicado en el numeral 450.3.5 del Artículo 450.

#### **453.3.6 Equipo de compactación**

Se deberán utilizar compactadores de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios. El equipo de compactación será aprobado por el Interventor, a la vista de los resultados obtenidos en la fase de experimentación. Todos los compactadores deberán ser autopropulsados y estar dotados de inversores de marcha suaves; además, estarán dotados de dispositivos para la limpieza de los rodillos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario.

Los rodillos metálicos no deberán presentar surcos ni irregularidades. Los compactadores vibratorios dispondrán de dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático.

Las presiones lineales estáticas o dinámicas de los diversos compactadores, serán las necesarias para conseguir la compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, pero sin producir roturas del agregado.

#### **453.3.7 Equipo accesorio**

Estará constituido por elementos para limpieza, preferiblemente barredora o sopladora mecánica, siempre que su uso sea permitido por las autoridades ambientales. Así mismo, se requieren herramientas menores para efectuar correcciones localizadas durante la extensión de la mezcla, termómetros, etc.

## **453.4 EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS**

### **453.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados**

Rige lo indicado en el numeral 400.4.1 del Artículo 400.

### **453.4.2 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo**

Rige todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.2 del Artículo 400.

Las mezclas drenantes se diseñarán a partir de probetas cilíndricas tipo Marshall, confeccionadas como se describe en la norma de ensayo INV E-760. Las temperaturas de mezcla y compactación dependerán de las características del ligante bituminoso que se emplee y se definirán en cada caso particular durante la etapa de diseño. La temperatura de elaboración de la mezcla deberá ser tal, que se obtenga una adecuada envuelta del agregado, sin que se produzcan escurrimientos del ligante.

El contenido óptimo de material bituminoso en la mezcla se deberá elegir de manera que se cumplan los siguientes criterios:

- Los vacíos con aire de la mezcla compactada, medidos como se indica en la norma de ensayo INV E-736, no deberán ser inferiores a veinte por ciento (20%), ni mayores de veinticinco por ciento (25 %).
- Para asegurar que los vacíos con aire están debidamente interconectados, se realizará una prueba de permeabilidad. La capacidad de drenaje se mide colocando cien mililitros (100 ml) de agua en un molde conteniendo la probeta prehumedecida. El tiempo que tarde el agua en atravesar la muestra no deberá exceder de quince segundos (15 s).
- Las pérdidas por desgaste a veinticinco grados Celsius (25°C), determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma INV E-760, no deberán ser superiores a veinticinco por ciento (25 %).
- La dosificación del material bituminoso no podrá ser inferior a cuatro y medio por ciento (4.5 %), respecto del peso seco de los agregados, incluido el llenante mineral.
- Se deberá comprobar, además, la adhesividad entre el agregado y el ligante, caracterizando la mezcla en presencia de agua. Al efecto, la pérdida por abrasión en el ensayo Cántabro, según la norma de ensayo INV E-760, tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión en agua durante veinticuatro horas (24 h) a sesenta grados Celsius (60°C), no podrá exceder de cuarenta por ciento (40 %). Si se supera este valor, se deberá mejorar la adhesividad mediante un aditivo mejorador de adherencia apropiado.

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se podrá ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan de manera frecuente las tolerancias granulométricas establecidas en este Artículo, se requerirá el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

#### **453.4.3 Preparación de la superficie existente**

No se permitirá la colocación de la mezcla drenante mientras el Interventor no certifique que la capa sobre la cual se va a colocar es estructuralmente sana y que su superficie es impermeable y presenta una sección transversal apropiada.

Las áreas de la superficie existente donde se formen charcos en instantes de lluvia, requieren una capa de mezcla densa de nivelación antes de que se permita la extensión de la mezcla drenante.

No se permitirá la colocación de mezclas drenantes directamente sobre superficies fresadas.

La extensión de la mezcla drenante requiere la aplicación de un riego previo de liga, empleando una emulsión asfáltica modificada con polímeros, el cual se realizará conforme lo establece el Artículo 421 de las presentes especificaciones.

Antes de aplicar la mezcla, se verificará que haya ocurrido el curado del riego de liga previo, no debiendo quedar restos de fluidificante ni de agua en la superficie. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego, se comprobará que su capacidad de liga con la mezcla no se haya mermado en forma perjudicial; si ello ha sucedido, el Constructor deberá efectuar un riego de liga adicional, en la cuantía que fije el Interventor. Si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable al Constructor, el nuevo riego deberá realizarlo a su costa.

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales adecuados para restablecer la rasante de apoyo, se ejecutarán de acuerdo con las indicaciones del Artículo 465 para la excavación y de los Artículos que correspondan a los materiales empleados en el relleno de la misma.

#### **453.4.4 Fase de experimentación**

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del Artículo 400. Las temperaturas de extensión y compactación tienen especial importancia en el comportamiento de estas mezclas, razón por la cual se debe tener especial cuidado en su definición durante la fase de experimentación.

Así mismo, se deberá analizar la correspondencia entre el contenido de vacíos con aire de la mezcla compactada y la permeabilidad de la capa, medida según la norma de ensayo INV E-796.

#### **453.4.5 Aprovechamiento de los agregados**

Los agregados se suministrarán fraccionados y se manejarán separados hasta su introducción en las tolvas en frío. El número de fracciones deberá ser tal, que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias exigidas en la granulometría de la mezcla. Cada fracción será suficientemente homogénea y se deberá poder acopiar y manejar sin peligro de segregación, observando las precauciones que se detallan a continuación. En el caso de plantas asfálticas del tipo tambor secador-mezclador no se permitirá, por ningún motivo, realizar una predosificación de las fracciones de agregados antes de su vertimiento a las tolvas de agregados en frío.

Cada fracción del agregado se acopiará separada de las demás, para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los quince centímetros (15 cm)

inferiores de los mismos. Los acopios se construirán por capas de espesor no superior a un metro y medio (1.5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocarán adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se acopiarán por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se aplicará cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado.

#### **453.4.6 Fabricación de la mezcla asfáltica**

La carga de las tolvas en frío se realizará de forma que éstas contengan entre el cincuenta por ciento (50%) y el cien por ciento (100%) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las aberturas de salida de las tolvas en frío se regularán en forma tal, que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de trabajo de la alimentación en frío. El caudal total de esta mezcla en frío se regulará de acuerdo con la producción prevista, debiéndose mantener constante la alimentación del secador.

Los agregados se calentarán antes de su mezcla con el asfalto. El secador se regulará de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea. Siempre que se presenten síntomas de avería en el sistema de combustión; si la combustión es incompleta o si se advierte alguna contaminación por combustible en los agregados pétreos o en la mezcla, se detendrá la producción hasta que se identifiquen y corrijan las causas del problema. Si el polvo mineral recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al llenante y su utilización está prevista, se podrá introducir en la mezcla; en caso contrario, se deberá eliminar. El tiro de aire en el secador se deberá regular de forma adecuada, para que la cantidad y la granulometría del llenante recuperado sean uniformes. La dosificación del llenante de recuperación y/o el de aporte se hará de manera independiente de los agregados y entre sí.

En las plantas de tipo discontinuo, se deberá comprobar que la unidad clasificadora en caliente proporcione a las tolvas en caliente agregados homogéneos; en caso contrario, se tomarán las medidas necesarias para corregir la heterogeneidad.

Los agregados preparados como se ha indicado anteriormente, y eventualmente el llenante mineral seco, se pesarán o medirán exactamente y se transportarán al mezclador en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo.

Después de haber introducido en el mezclador los agregados y el llenante, se agregará automáticamente el material bituminoso calculado para cada bachada, el cual se deberá encontrar a la temperatura adecuada, y se continuará la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

En ningún caso se introducirá en el mezclador el agregado caliente a una temperatura superior en más de quince grados Celsius (15°C) a la temperatura del asfalto.

En el momento de la mezcla, la temperatura del asfalto deberá ser tal, que se consiga la envuelta perfecta de los agregados, sin que se produzcan escurrimientos del ligante. El volumen de materiales en el mezclador no será tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando éstas se encuentren en posición vertical, siendo recomendable que no superen los dos tercios (2/3)

de su altura. Todos los tamaños del agregado deberán estar uniformemente distribuidos en la mezcla y sus partículas total y homogéneamente cubiertas de ligante. La temperatura de la mezcla recién elaborada no excederá de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

En caso de utilizar adiciones al ligante o a la mezcla, se cuidará su correcta dosificación y su distribución homogénea, así como la conservación de sus características iniciales durante el proceso de fabricación.

Se rechazarán todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma, o las que presenten indicios de contaminación o de humedad. En este último caso, se retirarán los agregados de las correspondientes tolvas en caliente de las plantas de tipo discontinuo. También, se rechazarán aquellas mezclas en las que la envuelta no sea perfecta.

#### **453.4.7 Transporte de la mezcla**

Rige lo descrito en el numeral 450.4.7 del Artículo 450.

#### **453.4.8 Transferencia de la mezcla**

Se aplica lo indicado en el numeral 450.4.8 del Artículo 450.

#### **453.4.9 Extensión de la mezcla**

La mezcla recibida de la volqueta o de la máquina de transferencia será extendida con máquinas pavimentadoras, de modo que se cumplan los alineamientos, anchos y espesores señalados en los planos o determinados por el Interventor.

A menos que el Interventor expida una instrucción en contrario, la extensión se realizará en franjas longitudinales y comenzará a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior en las secciones peraltadas. Siempre que resulte posible, se evitarán las juntas longitudinales realizando la extensión en ancho completo, trabajando si es necesario con dos (2) o más pavimentadoras ligeramente desfasadas. Si por razones prácticas de la obra ello no resulta posible, se deberá trabajar de manera que las juntas longitudinales coincidan con una limesa del pavimento.

La pavimentadora se regulará de manera que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin arrastres ni segregaciones, y con un espesor tal que, luego de compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en los planos, con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Por ningún motivo se permitirá el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se permitirá la segregación de la mezcla. Si ella ocurre, su extensión deberá ser suspendida inmediatamente hasta que su causa sea determinada y corregida. Toda área segregada o con irregularidades que no sea corregida antes de la compactación, deberá ser removida y reemplazada con material apropiado, a expensas del Constructor.

La colocación de la mezcla se realizará con la mayor continuidad posible, ajustando la velocidad de la pavimentadora a la producción de la planta asfáltica, de manera que aquella sufra el menor número de detenciones.

En caso de trabajo intermitente, se comprobará que la temperatura de la mezcla que quede sin extender en la tolva o bajo la pavimentadora no baje de la especificada para el inicio de la compactación; de lo contrario, se deberá ejecutar una junta transversal.

En los sitios en los que a juicio del Interventor no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras, la mezcla se podrá extender a mano. La mezcla se descargará fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y distribuirá en los lugares correspondientes mediante procedimientos aprobados por aquel, en una capa uniforme y de espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a los planos o instrucciones del Interventor, con las tolerancias establecidas en la presente especificación.

#### **453.4.10 Compactación de la mezcla**

La compactación se realizará según el plan aprobado por el Interventor como resultado de la fase de experimentación. Deberá comenzar, una vez extendida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete, sin que se produzcan desplazamientos indebidos.

La compactación se realizará longitudinalmente de manera continua y sistemática. Deberá empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado avanzará del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma aprobada por el Interventor, hasta que la superficie total haya sido compactada. Si la extensión de la mezcla se ha realizado por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior.

Los rodillos deberán llevar su rueda motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el Interventor, y sus cambios de dirección se harán sobre la mezcla ya compactada. Los elementos de compactación deberán estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos. No se permitirán, sin embargo, excesos de agua.

Las mezclas drenantes requieren un menor esfuerzo de compactación que las mezclas densas. El número de pasadas deberá ser el establecido durante la fase de experimentación y será lo suficientemente bajo para prevenir excesos de compactación que reduzcan el volumen de aire en la mezcla. Igualmente, las temperaturas requeridas para la compactación también son menores, pero se debe tener cuidado de terminar el proceso con prontitud debido a que, por el limitado espesor de la capa y su elevado contenido de vacíos, la mezcla pierde temperatura rápidamente.

La compactación se deberá realizar de manera continua durante la jornada de trabajo y se complementará con el trabajo manual necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar. Sin embargo, las correcciones mediante procedimientos manuales se deberán evitar al máximo, a causa de la aspereza de la mezcla.

La temperatura de la mezcla se deberá verificar al comienzo y al final del proceso de compactación.

#### **453.4.11 Juntas de trabajo**

Las juntas de trabajo de las mezclas drenantes deberán permitir siempre el libre flujo de agua a través de la capa compactada. Si la construcción de juntas longitudinales es inevitable, al extender franjas contiguas no suele ser necesario el corte de la junta si ella no se produce en una limatesa del pavimento. Por ningún motivo se permitirá la aplicación de un riego de liga sobre la superficie de contacto entre las dos (2) franjas.

Las juntas transversales en la capa de rodadura drenante se deberán construir en forma diagonal, con el punto más avanzado en la parte más alta de la franja que se compacta, de tal forma que si la junta forma una barrera, la pendiente permita la salida del agua hacia el exterior. La compactación de estas juntas se realizará en sentido transversal, disponiendo los apoyos adecuados para los elementos de compactación.

#### **453.4.12 Apertura al tránsito**

Alcanzado el nivel de compactación exigido, el tramo pavimentado se podrá abrir al tránsito tan pronto la capa alcance la temperatura ambiente en todo su espesor.

#### **453.4.13 Limitaciones en la ejecución**

No se permitirá la extensión y compactación de la mezcla en momentos de lluvia, ni cuando haya fundado temor que ella ocurra o cuando la temperatura ambiente a la sombra y la del pavimento sean inferiores a ocho grados Celsius (8°C).

Los trabajos de construcción de la mezcla drenante se deberán efectuar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el Interventor podrá autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el Constructor garantice el suministro y operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para aquel. Si el Constructor no ofrece esta garantía, no se le permitirá el trabajo nocturno y deberá poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente en las horas de luz solar.

#### **453.4.14 Manejo ambiental**

Al respecto, regirá todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del Artículo 400 de estas especificaciones.

#### **453.4.15 Reparaciones**

Rige lo especificado en el numeral 440.4.17 del Artículo 440.

### **453.5 CONDICIONES PARA EL RECIBO DE LOS TRABAJOS**

#### **453.5.1 Controles**

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del Artículo 400.

## **453.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias**

### **453.5.2.1 Calidad del ligante asfáltico**

A la llegada de cada carrotanque con cemento asfáltico modificado con polímeros al sitio de los trabajos, el Constructor deberá entregar al Interventor una certificación original, expedida por el fabricante del producto, donde se indiquen las fechas de elaboración y despacho, el tipo de asfalto, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deberán satisfacer las condiciones especificadas en el numeral 400.2.3 del Artículo 400 de las presentes especificaciones.

El Interventor se abstendrá de aceptar el empleo de suministros de ligante asfáltico que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Además, efectuará las verificaciones exigidas en el numeral 414.5.2 del Artículo 414. En todos los casos, guardará una muestra para ensayos ulteriores de contraste, cuando el Constructor o el fabricante manifiesten inconformidad con los resultados iniciales.

En relación con los resultados de las pruebas, no se admitirá ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en la Tabla 400.4 del Artículo 400 de las presentes especificaciones.

### **453.5.2.2 Calidad de los agregados pétreos y del llenante mineral**

Se deberán aplicar todas las exigencias del numeral 440.5.2.3 del Artículo 440.

### **453.5.2.3 Composición de la mezcla**

A la salida del mezclador o del silo de almacenamiento, sobre cada vehículo de transporte, el Interventor controlará el aspecto de la mezcla y medirá su temperatura. Rechazará todas las mezclas segregadas, carbonizadas o sobrecalentadas, así como las mezclas con espuma, aquellas cuya envuelta no sea homogénea y las que presenten indicios de humedad o de contaminación por combustible. En este último caso y cuando la planta sea de tipo discontinuo, se deberán retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente.

Cuantitativamente, el Interventor realizará los siguientes controles:

#### **a. Contenido de asfalto**

Al respecto, se aplicarán los mismos criterios establecidos en el inciso a. del numeral 440.5.2.4 del Artículo 440 de las presentes especificaciones.

Para efectos del control, se considerará como lote el volumen de material que resulte de aplicar los criterios del numeral 453.5.2.5.

#### **b. Granulometría de los agregados**

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se determinará la composición granulométrica de los agregados.

La curva granulométrica de cada ensayo individual deberá ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada, ajustándose a la fórmula de trabajo con las tolerancias que se indican en la Tabla 453.2, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

En el caso de que los valores obtenidos excedan las tolerancias, pero no salgan de la franja, el Constructor deberá preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje medio de asfalto de la mezcla elaborada con este agregado. Ella se someterá a las pruebas de valoración descritas en el aparte 453.4.2 de este Artículo. Si todos los requisitos allí indicados se cumplen, se aceptará el lote. En caso contrario, se rechazará.

Tabla 453.2  
Tolerancias granulométricas de los agregados para mezclas drenantes

TAMIZ	TOLERANCIA EN PUNTOS DE % SOBRE EL PESO SECO DE LOS AGREGADOS
9.50 mm (3/8") y mayores	± 4
4.75 mm (No. 4) 2.00 mm (No. 10) 425 µm (No. 40)	± 3
75 µm (No. 200)	± 1

#### 453.5.2.4 Calidad de la mezcla

##### a. Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se moldearán probetas (tres por muestra), para el ensayo Cántabro (INV E-760).

Con tres de las probetas se medirá la pérdida por abrasión en seco y con las otras tres se determinará la pérdida por abrasión luego de un período de inmersión en agua a sesenta grados Celsius (60°C) durante veinticuatro horas (24 h).

Los valores promedio de pérdida de ambos grupos deberán satisfacer los criterios descritos en el numeral 453.4.2. Ninguna de las probetas podrá presentar una pérdida mayor en veinte por ciento (20 %) de la máxima admisible para cada grupo.

El incumplimiento de alguna de estas exigencias acarrea el rechazo del lote representado por las muestras.

##### b. Vacíos con aire

A las probetas que van a ser utilizadas para la determinación de la resistencia, se les determinará previamente los vacíos con aire. El valor promedio de los vacíos con aire de las seis (6) probetas

no podrá diferir en más de dos puntos porcentuales ( $\pm 2\%$ ) del definido al establecer las fórmula de trabajo y, simultáneamente, se deberá encontrar en el rango que se establece en el numeral 453.4.2, sin que ningún valor individual se pueda salir de él en más de tres puntos porcentuales ( $\pm 3\%$ ).

El incumplimiento de alguna de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras.

#### **453.5.2.5 Calidad del producto terminado**

Se considerará como “lote” que se aceptará o rechazará en bloque, la menor área construida que resulte de los siguientes criterios:

- Quinientos metros lineales (500m) de mezcla drenante colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m<sup>2</sup>) de mezcla drenante colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, excluyendo sus chaflanes, no podrá ser menor que la señalada en los planos o la determinada por el Interventor. La cota de cualquier punto de la mezcla drenante compactada, no deberá variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, el Interventor estará obligado a efectuar las siguientes verificaciones:

##### **a. Compactación**

Las verificaciones de la compactación de la capa se realizarán en una proporción de cuando menos cinco (5) por lote. Los sitios para las mediciones se elegirán al azar, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro.

El porcentaje promedio de vacíos con aire en la mezcla no podrá variar en más de tres puntos porcentuales ( $\pm 3\%$ ) del obtenido en la fórmula de trabajo y, simultáneamente, se deberá encontrar en el rango que se establece en el numeral 453.4.2. Además, no más de tres (3) individuos del lote ensayado podrán presentar valores que difieran en más de cuatro puntos porcentuales ( $\pm 4\%$ ) del obtenido al establecer la fórmula de trabajo.

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote por parte del Interventor. En caso de rechazo, la capa de mezcla drenante correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y repuesta a satisfacción del Interventor, todo ello a cargo y costa del Constructor. El material fresado será de propiedad del Constructor.

##### **b. Espesor**

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, el Interventor determinará el espesor medio de la capa compactada ( $e_m$ ), el cual no podrá ser inferior al de diseño ( $e_d$ ):

$$e_m \geq e_d$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual ( $e_i$ ), deberá ser, cuando menos, igual al noventa por ciento (90%) del espesor de diseño, admitiéndose sólo un valor por debajo de dicho límite:

$$e_i \geq 0.9 e_d$$

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote por parte del Interventor. En caso de rechazo, la capa de mezcla drenante correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y repuesta a satisfacción del Interventor, todo ello a cargo y costa del Constructor. El material fresado será de propiedad del Constructor.

#### **c. Lisura**

En relación con este aspecto, resultan aplicables los requisitos establecidos en el literal c. del numeral 440.5.2.6 del Artículo 440 de estas especificaciones.

#### **d. Textura**

Las medidas de textura se realizarán antes de la puesta en servicio de la capa, empleando el método descrito en la norma de ensayo INV E-791.

El número mínimo de puntos a controlar por lote será de tres (3), que se ampliarán a cinco (5) si la textura obtenida en uno de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Dichos puntos se elegirán al azar, de acuerdo con la norma INV E-730. Después de diez (10) lotes consecutivos aceptados, el Interventor podrá reducir la frecuencia de los ensayos.

La profundidad promedio de textura del lote no podrá ser menor de quince décimas de milímetro (1.5 mm), sin que ningún valor individual sea inferior en más de veinte por ciento (20%) al promedio mínimo exigido.

El incumplimiento de al menos uno de estos requisitos implicará el rechazo del lote representado por los ensayos. En tal caso, se deberá remover la capa drenante correspondiente al lote y colocar una nueva capa drenante del mismo espesor, por cuenta del Constructor, a plena satisfacción del Interventor y sin costo alguno para el Instituto Nacional de Vías. El material removido será de propiedad del Constructor.

#### **e. Resistencia al deslizamiento**

Una vez transcurrido, como mínimo treinta (30) días de la puesta en servicio de la capa de mezcla drenante, se harán las determinaciones de la resistencia al deslizamiento.

Debido a que este parámetro se encuentra relacionado directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación no se elegirán al azar, sino que serán ubicados por el Interventor en los lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular en condición de superficie húmeda.

Las medidas se realizarán con el péndulo británico, en acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada

zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote, y ninguna de ellas podrá presentar un valor inferior a 0.55 para las zonas en tangente y 0.60 para las demás zonas.

En caso de que se presenten valores menores, el Interventor adelantará medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual deberá ser corregida por el Constructor, a su costa, bajo el mismo criterio exigido en el inciso precedente para remediar los incumplimientos en cuanto a textura.

Se permite el empleo de otros dispositivos para verificar la resistencia al deslizamiento. En tal caso, la especificación particular indicará el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deberán ser, cuando menos, equivalentes a los indicados en el presente inciso para el péndulo británico.

#### **f. Regularidad superficial (rugosidad)**

El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) se comprobará de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado, este Artículo establece que la determinación del IRI se deberá realizar, únicamente, con procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial.

Las medidas de precisión se podrán adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-794 o con un Face-Dipstick, empleando el procedimiento descrito en el Apéndice C del documento FHWA-RD-03-31 (Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program) de la Federal Highway Administration.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, éste se deberá validar previamente con uno de precisión en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos metros (200 m). El equipo de referencia inercial se deberá operar de acuerdo con la norma ASTM E 950.

Para efectos de la evaluación con fines de recibo, las medidas se harán en cada uno de los carriles del pavimento construido y los valores del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) se presentarán en m/km, en tramos consecutivos de cien metros (100 m) por carril, con la excepción que se cita en el párrafo siguiente. Un conjunto de cinco (5) tramos constituirá un lote.

No habrá exigencia sobre el cumplimiento de regularidad superficial en tramos que incluyan singularidades, entendiéndose por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias constructivas, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, los reductores de velocidad mencionados en el numeral 5.2 del Manual de Señalización Vial del Ministerio de Transporte, etc., los cuales serán definidos por el Interventor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la determinación del índice internacional de rugosidad (IRI).

Se entenderá que la superficie del pavimento tiene una regularidad superficial aceptable, si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la Tabla 453.3.

Si los resultados de IRI exceden los límites especificados en la Tabla 453.3 toda la longitud del lote deberá ser fresada y repuesta en el mismo espesor. El fresado, traslado y disposición del material demolido y la reconstrucción de la capa, con la calidad exigida por el presente Artículo, serán de

cargo del Constructor. El material demolido será de propiedad del Constructor. Éste, a su vez, no podrá invocar las reconstrucciones motivadas por deficiencias en la regularidad superficial, como causas justificativas del incumplimiento en el programa de trabajo.

Tabla 453.3  
Valores máximos admisibles de IRI (m/km)

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	PAVIMENTOS DE CONSTRUCCIÓN NUEVA Y REHABILITADOS EN ESPEJOR > 100 mm	PAVIMENTOS REHABILITADOS EN ESPEJOR ≤ 100 mm
	NT2 Y NT3	NT2 Y NT3
40	1.4	1.9
80	2.0	2.5
100	2.5	3.0

**g. Segregación térmica**

El Constructor deberá entregar al Interventor un registro fotográfico, tomado con cámara infrarroja, de las temperaturas de extensión y compactación de toda la mezcla colocada, debidamente referenciadas.

Estas fotografías, que serán incluidas en el informe final de Interventoría, servirán al Instituto Nacional de Vías como antecedente técnico si se presentan deterioros de la capa de mezcla drenante durante el período de garantía, como consecuencia de la segregación térmica durante la construcción.

Todas las áreas de mezcla drenante colocada y compactada, donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deberán ser corregidas por el Constructor, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a plena satisfacción de éste.

**453.6 MEDIDA**

Rige lo descrito en el numeral 400.6.2 del Artículo 400

**453.7 FORMA DE PAGO**

Rige lo descrito en el numeral 400.7.2 del Artículo 400.

**ÍTEM DE PAGO**

453.1 Mezcla drenante

Metro cúbico (m<sup>3</sup>)

## **ANEXO D**

---

### Normas de ensayo

# CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE

I.N.V. E – 760 – 07

## 1. OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación del valor de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas empleando la máquina de Los Ángeles. El procedimiento se puede emplear tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio, como para el control en obra de las mismas.
- 1.2 El procedimiento se aplica a las mezclas asfálticas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm.
- 1.3 El ensayo permite valorar directamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.
- 1.4 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 1.5 Esta norma no involucra las debidas precauciones de seguridad que se deben tomar para la manipulación de materiales y equipos aquí descritos, ni establece pautas al respecto para el desarrollo de cada proceso en términos de riesgo y seguridad industrial. Es responsabilidad del usuario, establecer las normas apropiadas con el fin de minimizar los riesgos en la salud e integridad física, que se puedan generar debidos a la ejecución de la presente norma y determinar las limitaciones que regulen su uso.

## 2. EQUIPO

- 2.1 *Equipo de compactación* – Formado por el molde, collar, placa de base y maza de compactación, empleados en la norma INV E – 748, “Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall”.
- 2.2 *Máquina de Los Ángeles* – La máquina para en ensayo de desgaste de Los Angeles tendrá las características indicadas en las normas INV E – 218 e INV E – 219.
- 2.3 *Termómetros* – Para medir las temperaturas de los agregados, ligante y mezcla asfáltica, se emplearán termómetros metálicos, con escala hasta 200° C y sensibilidad de 3° C. Para la medida de la temperatura a la que se realiza el ensayo, se utilizará un termómetro con escala 0 a 40° C y sensibilidad de 0.5° C.

- 2.4 *Balanzas* – Una balanza de 2 kg de capacidad y 0.1 g de sensibilidad para pesar las probetas y otra de 5 kg de capacidad y 1 g de sensibilidad para la preparación de las mezclas.
- 2.5 *Cámara termostática* – Para mantener constante la temperatura durante el ensayo, se deberá disponer de una cámara o recinto capaz de alojar la máquina de Los Ángeles, y en la que la temperatura de ensayo se pueda regular con un error máximo de  $\pm 1^\circ \text{C}$ .
- 2.6 *Material general* – Bandejas, recipientes, espátulas, guantes de amianto, lápices grasos, cogedores curvos, discos de papel de filtro, etc.

### 3. PROCEDIMIENTO

#### 3.1 *Preparación de las probetas*

- 3.1.1 *Número de probetas* – Se prepara un mínimo de cuatro probetas para cada contenido de ligante ensayado.
- 3.1.2 *Preparación de los agregados* – Las distintas fracciones de agregados que componen la mezcla se secan en estufa hasta masa constante a una temperatura de  $105^\circ$  a  $110^\circ \text{C}$ .
- 3.1.3 *Temperaturas de mezcla y compactación* – Las temperaturas del ligante en la mezcla y compactación de las probetas, serán las adecuadas para hacer compatible una buena envuelta sin que se produzca escurrimiento. Como criterio orientador, se pueden elegir las temperaturas que se prescriben, según viscosidad, en la norma INV E – 748, modificándolas si fuera preciso para cumplir los requisitos de envuelta y escurrimiento indicados antes.
- 3.1.4 *Preparación de mezclas* – Se pesan sucesivamente en un recipiente tarado las cantidades de cada fracción de los agregados necesarias para la fabricación de una probeta, de tal modo que la cantidad total de agregados sea de 1.000 g. El resto del proceso de preparación coincide con el indicado en la norma INV E – 748 para la fabricación de las probetas Marshall.
- 3.1.5 *Compactación de las mezclas* – La energía de compactación será de 50 golpes por cara, empleando el equipo y procedimiento de compactación descritos en la norma INV E – 748.
- 3.1.6 *Densidad y análisis de vacíos* – Una vez desmoldadas las probetas, se determina su densidad y contenido de vacíos a partir de la medida geométrica de su volumen y densidad relativa de los materiales, según la norma INV E – 736.

#### 3.2 *Ejecución del ensayo*

- 3.2.1 En general, la temperatura de ensayo estará comprendida entre  $15^\circ$  y  $30^\circ \text{C}$ , con una tolerancia máxima de  $\pm 1^\circ \text{C}$ .

- 3.2.2 Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0.1 g y se anota este valor como  $P_1$ . Antes de ensayarlas, las probetas se mantienen a la temperatura de ensayo un mínimo de seis (6) horas.
- 3.2.3 Se introduce a continuación una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles y, sin la carga abrasiva de las bolas, se hace girar el tambor a la misma velocidad normalizada en las normas INV E – 218 e INV E – 219 de 3.1 a 3.5 rad/s (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.
- 3.2.4 Al final del ensayo, se saca la probeta y se determina de nuevo su masa con la misma aproximación de 0.1 g, anotando este valor como  $P_2$ .
- 3.2.5 El ensayo se repite de forma idéntica con cada una de las probetas análogas preparadas según la Sección 3.1.

#### 4. CÁLCULOS

- 4.1 Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la expresión:

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

donde:

$P$  = valor de la pérdida por desgaste, en %,

$P_1$  = masa inicial de la probeta, en gramos, y

$P_2$  = masa final de la probeta, en gramos.

- 4.2 Se calcula el valor medio de todas las probetas análogas ensayadas según la Sección 3.2.
- 4.3 En el resultado se incluirá la pérdida media por desgaste y la temperatura de ensayo.

#### 5. NORMAS DE REFERENCIA

NLT 352/86

**PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFALTICAS  
COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS**

**I.N.V. E – 736 – 07**

**1. OBJETO**

- 1.1 Esta norma se refiere a la determinación del porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas densas y abiertas compactadas.
- 1.2 Esta norma puede involucrar operaciones peligrosas de manejo de materiales y equipos. Esta norma no considera los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

**2. DEFINICIONES**

Los términos empleados en este método corresponderán a las siguientes definiciones:

- 2.1 *Vacios de aire* – Son las bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregados cubiertos con asfalto, en una mezcla asfáltica compactada.
- 2.2 *Mezcla asfáltica densa* – Es una mezcla asfáltica en la cual, una vez compactada, los vacíos con aire son menores del 10%.
- 2.3 *Mezcla asfáltica abierta* – Es una mezcla asfáltica en la cual los vacíos con aire son del 10% o más, después de compactada.
- 2.4 *Gravedad específica máxima teórica* – En una mezcla sin compactar es la relación entre la masa (o peso en el aire) de un volumen de mezcla sin compactar (sin tener en cuenta los vacíos que quedan entre las partículas recubiertas con asfalto) y la masa de un volumen igual de agua a una temperatura establecida. Su valor es adimensional.
- 2.5 *Gravedad específica bulk* – En una mezcla compactada es la relación entre la masa (o peso en el aire) de un volumen de mezcla (teniendo en cuenta los vacíos que quedan entre las partículas recubiertas con asfalto) y la masa de un volumen igual de agua a una temperatura establecida. Su valor es adimensional.
- 2.6 *Densidad bulk* – Es la masa por unidad de volumen a una determinada temperatura. En el caso de una mezcla compactada es igual a la gravedad específica bulk multiplicada por la densidad del agua a la temperatura a la que se determino la gravedad específica bulk, generalmente 25° C.

### 3. USO Y SIGNIFICADO

El porcentaje de vacíos de aire en una mezcla asfáltica es uno de los criterios utilizados tanto en los métodos de diseño, como en la evaluación de la compactación alcanzada en proyectos de pavimentos asfálticos.

### 4. TOMA DE MUESTRAS

Las muestras para este ensayo, serán especímenes provenientes de mezclas compactadas en el laboratorio o de núcleos tomados de capas asfálticas compactadas en obra.

### 5. PROCEDIMIENTO

**5.1** *Para mezclas asfálticas densas* – Se determina la gravedad específica bulk de la mezcla compactada mediante las normas INV E – 733 o INV E – 734. Se determina la gravedad específica máxima teórica mediante la norma INV E – 735, sobre una mezcla asfáltica comparable para evitar la influencia de la diferencia de gradación, del contenido de asfalto, etc.

**5.2** *Para mezclas asfálticas abiertas* – Se determina la densidad bulk de una probeta, conformada en forma regular, de una mezcla asfáltica compactada, a partir de su masa seca (en g) y de su volumen (en cm<sup>3</sup>). Se mide la altura del espécimen con especial cuidado y precisión; así mismo, se mide su diámetro en cuatro sitios diferentes y se calcula su promedio. Se calcula el volumen de la muestra con base en la altura promedio y en la medida del diámetro. Se convierte la densidad bulk en gravedad específica bulk, dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> o 997.07 kg/m<sup>3</sup>, densidad del agua a 25°C (77°F). Se determina la gravedad específica máxima teórica mediante la norma INV E – 735, sobre una mezcla asfáltica comparable, para evitar la influencia de diferencias en la granulometría, contenido de asfalto, etc.

**5.3** Con propósitos de referencia, se determina tanto la gravedad específica bulk como la gravedad específica máxima teórica, sobre porciones de la misma mezcla asfáltica compactada.

### 6. CÁLCULOS

**6.1** Se calcula el porcentaje de vacíos de aire en una mezcla asfáltica compactada, respecto al volumen total, como sigue:

$$V_a = 100 - \%G_{mm}$$

$$\%G_{mm} = \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

Otra forma para presentar la expresión:

$$V_a = 100 \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right)$$

donde:

$V_a$  = porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada respecto al volumen del espécimen,

$G_{mm}$  = gravedad específica máxima teórica,

$G_{mb}$  = gravedad específica bulk de espécimen compactado, y

$\%G_{mm}$  = grado de compactación del espécimen, expresado como un % de la gravedad máxima teórica, aquella en la que no se tienen en cuenta los vacíos entre agregados cubiertos con asfalto, condición teórica de  $V_a = 0$

**6.2** Se reporta el porcentaje de vacíos de aire con una cifra decimal.

## 7. PRECISIÓN Y TOLERANCIAS

**7.1** La precisión de la determinación de este método de prueba depende de la precisión de los diferentes métodos de ensayo empleados. Puesto que el cálculo del porcentaje de vacíos, sección 6.1, involucra la densidad específica bulk dividida por la gravedad específica máxima teórica, la fórmula para el cociente es usada:

$$\sigma_{x/y} = \sqrt{\frac{\bar{y}^2 \sigma_x^2 + \bar{x}^2 \sigma_y^2}{\bar{y}^4}}$$

donde:

$\sigma_{x/y}$  = desviación estándar para la determinación de los límites de precisión de los resultados de las pruebas para una base estándar sobre el cociente de dos resultados de pruebas de otros estándares.

$\bar{x}$  = valor medio (promedio) de  $x$  estándar resultados de pruebas (gravedad específica bulk).

$\bar{y}$  = valor medio (promedio) de  $y$  estándar resultados de pruebas (gravedad específica máxima teórica).

$\sigma_x$  = desviación estándar de los planteamientos de precisión de  $x$  estándar, y

$\sigma_y$  = desviación estándar de los planteamientos de precisión de  $y$  estándar

*Nota 1.-* El  $\sigma$  estándar (INV E – 233, INV E – 234 e INV E – 235) es usado para calcular la gravedad específica bulk y el estándar y (INV E – 735) es usado para calcular la gravedad específica máxima teórica.

- 7.2** Los criterios para juzgar la aceptabilidad del porcentaje de vacíos con aire que son obtenidos usando las normas INV E – 734 e INV E – 735 para agregados no porosos, son:

Ensayo e Índice tipo	Desviación estándar	Rango aceptable de dos resultados
Precisión de un solo operador	0.31	0.91
Precisión multilaboratorio	--	--

- 7.3** Los criterios para juzgar la aceptabilidad del porcentaje de vacíos que se obtienen usando las normas INV E – 733 e INV E – 735 para agregados no porosos, son:

Ensayo e Índice tipo	Desviación estándar	Rango aceptable de dos resultados
Precisión de un solo operador	0.51	1.44
Precisión multilaboratorio	1.09	3.08

## 8. NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO T 269 – 97 (2003)

ASTM D 3203 – 94 (Reaprobada 2000)

# TEXTURA SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO MEDIANTE EL METODO DEL CÍRCULO DE ARENA

I.N.V. E – 791 – 07

## 1. OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la textura superficial de un pavimento mediante el círculo de arena .
- 1.2 En general, el ensayo es aplicable a cualquier tipo de pavimento, tanto asfáltico como de hormigón, y consiste en extender sobre su superficie un volumen de arena fina, distribuyéndola y enrasándola posteriormente mediante un dispositivo adecuado.
- 1.3 A partir del volumen de arena utilizado y del área cubierta por la misma sobre el pavimento, se calcula una profundidad media de los vacíos superficiales rellenos por la arena, valor que se puede utilizar como medida de la textura superficial del pavimento (Figura 1).
- 1.4 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 1.5 Esta norma no pretende dar directrices sobre aspectos de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, establecer las medidas de seguridad y salubridad apropiadas y determinar la aplicación de las limitaciones regulatorias antes de su empleo.

## 2. EQUIPO

- 2.1 Tres recipientes (Figura 2) para tres medidas diferentes del volumen de arena, constituidos por un tubo cilíndrico de latón o bronce, cerrado por uno de sus extremos, de 20 mm de diámetro interior y con las alturas necesarias para que sus volúmenes sean, respectivamente, de:  
 $50000 \pm 200 \text{ mm}^3$   
 $25000 \pm 150 \text{ mm}^3$   
 $10000 \pm 100 \text{ mm}^3$
- 2.2 Un dispositivo para extender y enrasar la arena, formado por un disco de madera con mango, con la forma y dimensiones de la Figura 3, provisto en su cara inferior de un disco de caucho duro.
- 2.3 Una regla metálica o de plástico de 200 mm de longitud como mínimo y graduada en milímetros.
- 2.4 Dos recipientes de plástico de boca ancha y tapón roscado para el transporte de la arena, de unos 2 litros de capacidad cada uno.

- 2.5 Un cepillo blando para pelo.
- 2.6 Dispositivo para proteger del viento la zona de medida, formado por varias chapas metálicas rectangulares unidas por argollas, capaces de formar una barrera circular alrededor del punto de ensayo que impida que el viento pueda arrastrar la arena. Si no se dispone de este útil, se puede recurrir a una llanta usada de camión.

### 3. MATERIALES

*Arena para ensayo* – Se utilizarán dos tipos de arena silícea de río, de grano redondeado, lavada y secada en estufa a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ , y con las siguientes granulometrías:

- 3.1 Arena tipo 50 – 100, que pasa por el tamiz de  $300\mu\text{m}$  (No.50) y queda retenida en el tamiz de  $150\mu\text{m}$  (No.100).
- 3.2 Arena tipo 100 – 200, que pasa por el tamiz de  $150\mu\text{m}$  (No.100) y queda retenida en el tamiz de  $75\mu\text{m}$  (No.200).

### 4. PROCEDIMIENTO

- 4.1 Se eligen las zonas a ensayar, las cuales se marcarán convenientemente en la calzada. En cada ensayo se realizará un mínimo de cinco determinaciones, alineadas en la dirección del eje de la vía y separadas a 1 m entre sí.
- 4.2 El volumen y la granulometría de la arena por emplear se elegirán en función de la textura del pavimento, de tal forma que el radio del círculo resultante esté comprendido entre 5 y 18 cm y el tamaño máximo del grano no sea superior a la profundidad media obtenida.
- 4.3 Se limpia la superficie de ensayo en un radio de unos 25 cm con el cepillo blando para pelo.
- 4.4 Si se requiere, se coloca el dispositivo de protección contra el viento, citando en la sección 2.6.  
  
*Nota 1.-* En el instante del ensayo, la superficie del pavimento se debe entrar seca.
- 4.5 Se llena de arena en exceso el recipiente cilíndrico elegido y se golpea ligeramente tres veces la base para asegurar la compactación; seguidamente, se enrasa con la regla el exceso de arena.
- 4.6 Se vierte la totalidad de la arena del recipiente en el punto de ensayo en forma de superficie cónica y a continuación se la extiende con ayuda de la cara plana de caucho del dispositivo de extensión, mediante movimientos rotatorios, hasta conseguir una superficie enrasada, aproximadamente circular, en la cual la arena rellene todas las depresiones, (Figura 4). El movimiento del dispositivo

debe ser suave, sin ejercer presión, y deslizándolo sobre la superficie del pavimento.

- 4.7 Se determina, con base en 3 medidas trazadas en diferentes direcciones el diámetro promedio del círculo de arena, aproximado al milímetro.

## 5. CÁLCULOS

- 5.1 Se calcula la profundidad media penetración de la arena utilizada dentro de las asperezas superficiales del pavimento o "profundidad de textura", H, con aproximación de 0.05 mm, mediante la expresión:

$$H = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2}$$

donde:

H = profundidad de textura en una medición, mm,

V = volumen de la arena utilizada, mm<sup>3</sup>, y

D = diámetro promedio del círculo de arena, mm.

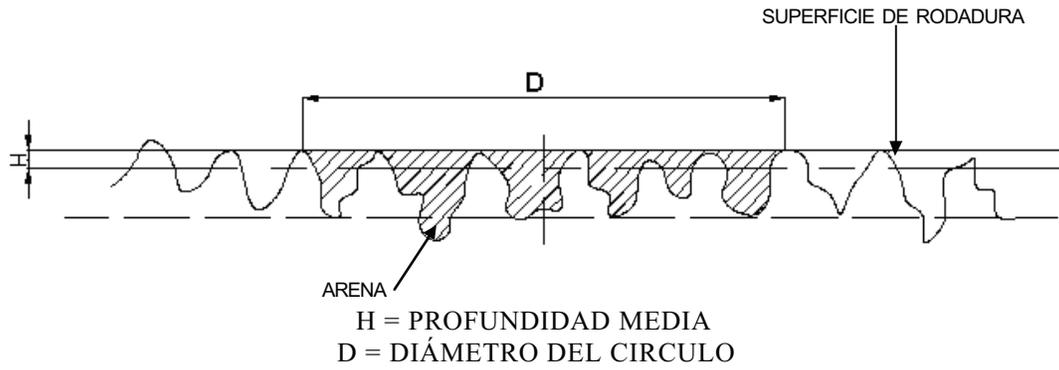
- 5.2 Se tomará como resultado del ensayo el valor promedio de, al menos, cinco determinaciones obtenidas como se indica en la Sección 4.1.

## 6. INFORME

En el informe se deberá relacionar el sitio de ensayo con el abscisado de la carretera, indicando el tipo de capa de rodadura, la "profundidad de textura" y una descripción visual de la textura del pavimento de acuerdo con las indicaciones de la Figura 5.

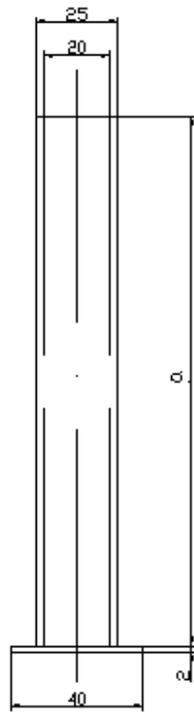
## 7. NORMAS DE REFERENCIA

NLT 335/87



$$H = \frac{4 \times VOL. ARENA}{\pi D^2}$$

Figura 1. Ensayo del círculo de arena



$\alpha$  = Variable para cada volumen, se dan los siguientes valores indicativos.

- |                          |                           |
|--------------------------|---------------------------|
| $V = 50000 \text{ mm}^3$ | $\alpha = 160 \text{ mm}$ |
| $V = 25000 \text{ mm}^3$ | $\alpha = 80 \text{ mm}$  |
| $V = 10000 \text{ mm}^3$ | $\alpha = 32 \text{ mm}$  |

MEDIDAS EN mm

Figura 2. Recipiente calibrado para el ensayo del círculo de arena

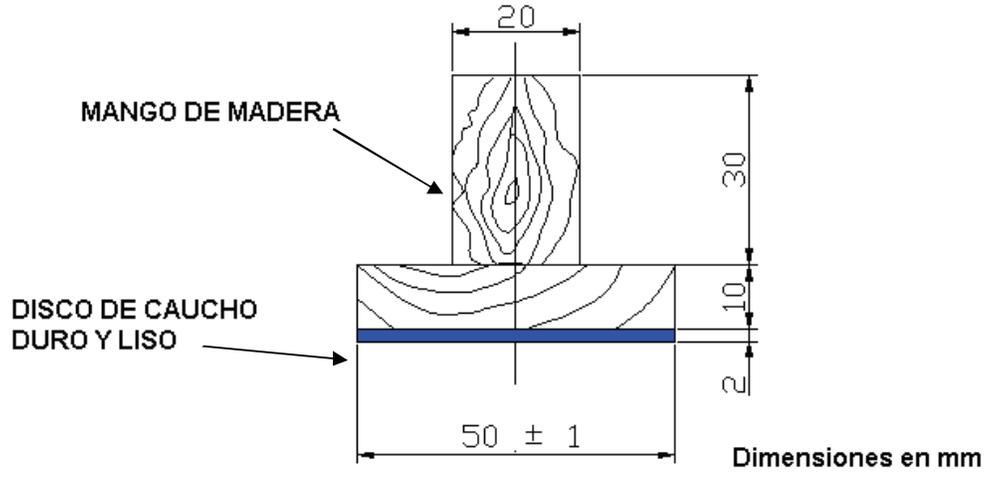


Figura 3. Dispositivo extendedor

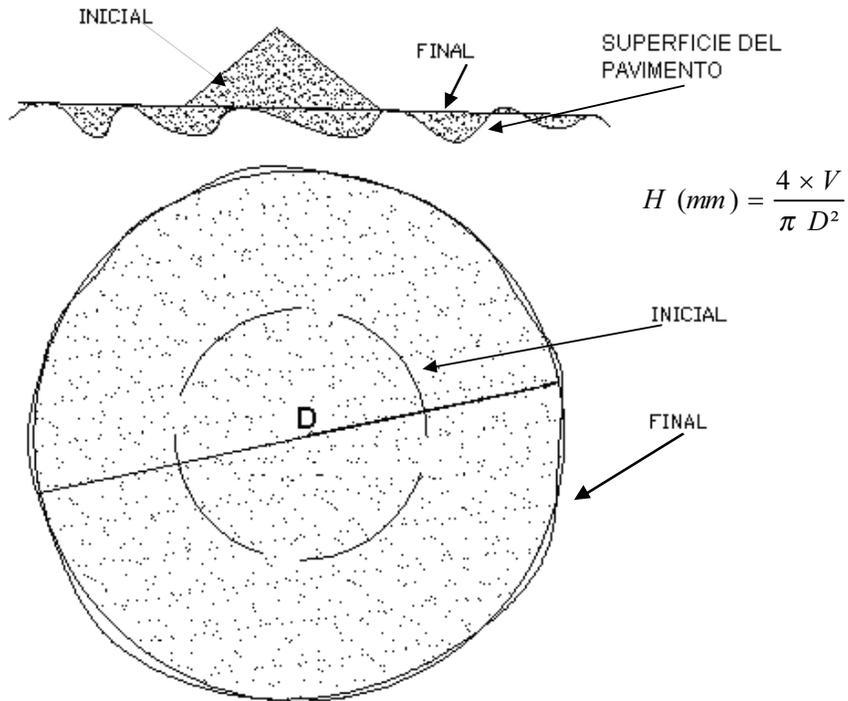
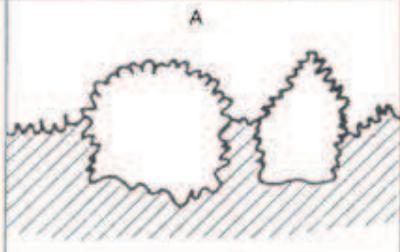
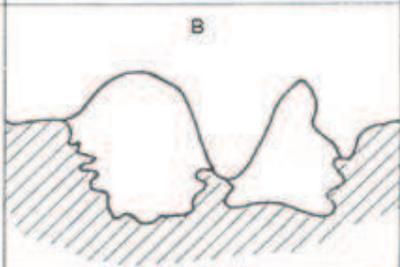
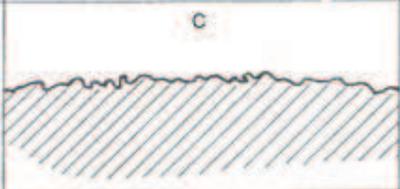
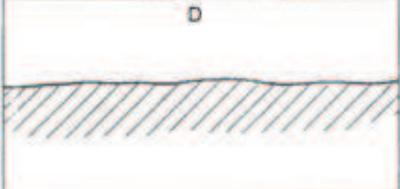


Figura 4. Esquema del ensayo del círculo de arena

SUPERFICIE		ESCALA DE TEXTURA	
		MACRO	MICRO
R - A	 <p>A</p>	RUGOSA	ASPERA
R - P	 <p>B</p>	RUGOSA	PULIDA
S - A	 <p>C</p>	SUAVE	ASPERA
S - P	 <p>D</p>	SUAVE	PULIDA

**Figura 5.** Ilustración de los términos utilizados para describir la textura de la superficie de rodadura

# COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO USANDO EL PÉNDULO BRITANICO

I.N.V. E – 792 – 07

## 1. OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para medir las propiedades superficiales de fricción (resistencia al deslizamiento) utilizando el péndulo de Transport and Road Research Laboratory (British Pendulum Skid Resistance Tester). El método de calibración del equipo es descrito en el Anexo.
- 1.2 El péndulo británico es un equipo dinámico de impacto utilizado para medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de caucho, cuando la arista o borde roza con una presión determinada y en una longitud fija la superficie a ensayar. Este método de ensayo es utilizado tanto en el laboratorio como en el campo, en superficies planas y para medidas de pulimento de muestras de laboratorio curvas, usadas en pruebas de pulimento acelerado con llanta.
- 1.3 El valor numérico medido con este péndulo C.R.D (Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento), para superficies planas y los valores del pulimento para muestras de pulimento acelerado con llanta, representan las propiedades friccionantes obtenidas con el aparato usando el procedimiento aquí establecido y no necesariamente concuerdan con las medidas de rozamiento efectuadas con otros equipos.
- 1.4 Esta norma no considera los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

## 2. RESUMEN DEL MÉTODO

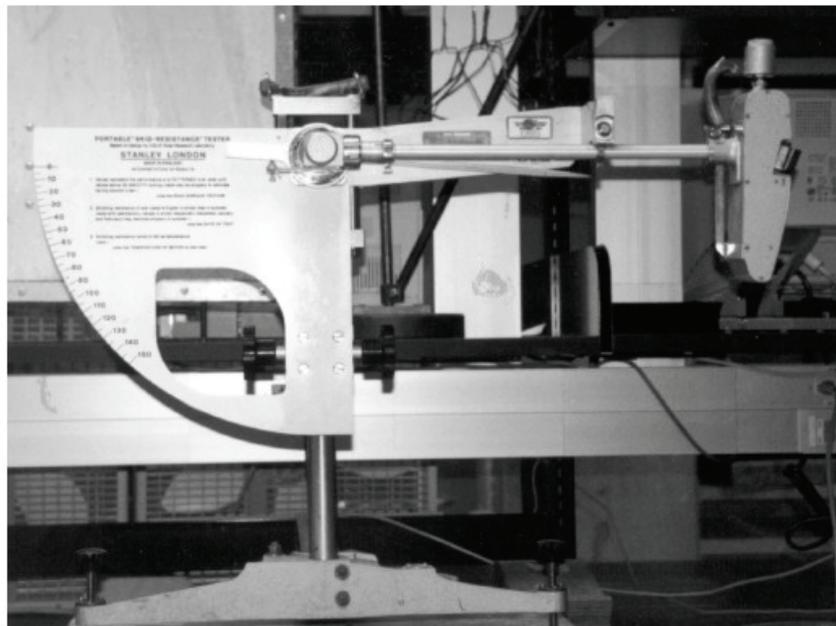
- 2.1 Este método consiste en el uso de un equipo de ensayo tipo péndulo, provisto en su extremo de una zapata deslizante de caucho para medir las propiedades friccionantes de la superficie de ensayo.
- 2.2 La superficie de ensayo debe estar limpia y completamente mojada antes de efectuar el ensayo.
- 2.3 Antes de realizar la prueba, la zapata del péndulo se debe fijar de tal manera que apenas se establezca contacto con la superficie que se va a ensayar. El péndulo se levanta a su posición inicial y se asegura allí, luego se suelta permitiendo el contacto entre la zapata y la superficie de ensayo.

- 2.4 Un Indicador o aguja indicadora, mostrará el valor C.R.D. A mayor fricción entre la zapata deslizante y la superficie de ensayo más se retarda el movimiento del indicador y se obtiene una lectura más grande de C.R.D. Se deben hacer cuatro movimientos pendulares sobre cada superficie a ensayar cuando se utiliza un caucho natural en la zapata ó cinco movimientos cuando se usa un caucho tipo M 261.

### 3. USO Y SIGNIFICADO

- 3.1 Este método entrega una medida de las propiedades friccionantes y de la microtextura de superficies, ya sea en el campo o en el laboratorio.
- 3.2 Este método puede ser utilizado para determinar el efecto relativo de varias pruebas de pulimento en materiales o combinación de materiales.
- 3.3 Los valores medidos siguiendo este procedimiento no necesariamente concuerdan con los resultados de otros métodos que evalúan las características de fricción ó resistencia al deslizamiento.

*Nota 1-* Valores de C.R.D. y valores de pulimento obtenidos en superficies similares no son numéricamente iguales, principalmente por las diferencias en la longitud de rozamiento y por la forma de la superficie. Correcciones teóricas de los valores de pulimento con el fin de obtener una igualdad numérica, ya sea matemáticamente o con el uso de una escala de medición especial no son recomendables.



**Figura 1.** Péndulo Británico

#### 4. EQUIPO

- 4.1 *Péndulo británico* – El Péndulo con la zapata deslizante y el montaje de la zapata, debe pesar  $1500 \pm 30$ g. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo a una distancia de  $411 \pm 5$  mm del centro de oscilación. La zapata debe tener un ajuste vertical capaz de permitir un contacto de la zapata con la superficie en una longitud entre 124 y 127 mm, para pruebas sobre superficies planas y entre 75 y 78 mm para pruebas en muestras sometidas a pulimento con llanta. El arreglo compuesto por el resorte y el elevador como se muestra en la Figura 2 debe permitir que la zapata de 76 mm de ancho ejerza sobre la superficie una fuerza igual a  $2500 \pm 100$  g, medida como se describe en el anexo.

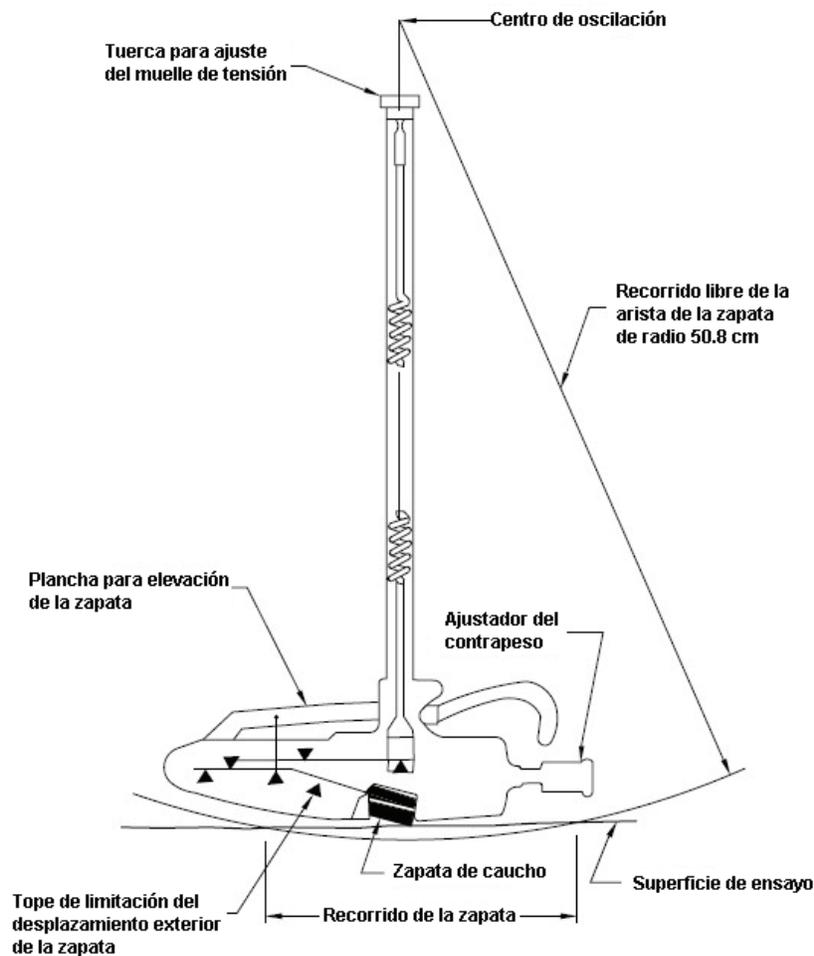
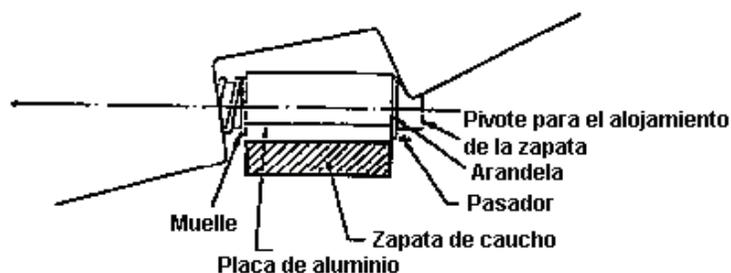


Figura 2. Detalle del brazo del péndulo

- 4.2 *La zapata de Caucho* – La zapata va pegada sobre una placa de aluminio (Figura 3) con orificio circular para su fijación al pivote (F) del brazo del

péndulo, formando un ángulo de  $70^\circ$  con el eje de este brazo y de manera tal, que solamente la arista posterior de la zapata quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girar alrededor del pivote (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo, manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo. Las dimensiones de las zapatas de caucho a emplear en medidas de resistencia al deslizamiento serán de 76.0 por 25.0 por 6.0 mm de espesor para ensayar superficies planas, (Figura.4) y de 32.0 por 25.0 por 6.0 mm de espesor para ensayar muestras curvas para pulimento con llanta. El material de la zapata será de caucho natural que cumpla con los requisitos del Road Research Laboratory o caucho sintético como se especifica en las Tablas 1 y 2 (Tomadas de la designación AASHTO M261).



**Figura 3.** Detalle de la disposición de la zapata de caucho.

- 4.2.1** Las zapatas nuevas se deben acondicionar antes de ser usadas, haciendo 10 giros oscilatorios sobre un paño de carburo de silicona grado No.60 o equivalente en condiciones secas. Los giros se deben hacer con el dispositivo ajustado como se describe en la Sección 6 (preparación del aparato).

*Nota 2.*- El paño de carburo considerado como apropiado para este ensayo esta disponible en la compañía 3M en St Paul Minessota con el nombre comercial de "Type B Safety-Walk".

- 4.2.2** El desgaste del borde de la zapata de caucho (superficie rozada) no debe exceder 3.2 mm en el plano de la zapata (ancho) ó 1.6 mm en la dirección vertical a ésta (alto), como se muestra en la Figura 4 Si el desgaste alcanza esta magnitud la zapata se debe cambiar.

### 4.3 Accesorios

- 4.3.1** Medidor de la longitud de contacto, el cual consiste en una Reglilla graduada (Ver Figura 5) capaz de medir la longitud de rozamiento entre zapata y superficie de ensayo en una longitud entre 124 y 127 mm o entre 75 y 78 mm como se requiera para un ensayo en particular.
- 4.3.2** Equipo auxiliar como recipientes para agua, termómetro para superficie de ensayo y cepillo, es recomendado.

**Tabla 1.** Especificaciones de los compuestos para fabricación del caucho de zapatas.

Material	Partes en Peso
SBR 1712 <sup>a</sup>	89.38
CB-1252 <sup>b</sup>	48.12
N347 Carbón negro <sup>c</sup>	75.00
Aceite altamente aromático	9.00
Oxido de Zinc	3.00
Ácido Estearico	2.00
Santoflex 13 <sup>d</sup>	2.00
Cera parafinita	2.00
Santocure NS <sup>e</sup>	1.10
DPG <sup>f</sup>	0.10
Azufre	1.80

- a. Caucho Estirene-butadiene (23.5% de Estirene), 37.5 partes de aceite altamente aromático.
- b. Cis-polibutadiena con 37.5 partes de aceite altamente aromático.
- c. N347 Carbón negro. Ver norma ASTM D 1765.
- d. Santoflex 13, dimetil butifenil fenilenediamina.
- e. Santocure NS, butil benzotiazol sulfonamida.
- f. DPG, difenil guanidine.

**Tabla 2.** Propiedades físicas del caucho de zapatas.

Curado de la hoja de tensión a 149° C (300° F), minutos.	30
Módulo del 300%, MPa (psi)	5.5 ± 1.4 (800 ± 200)
Durómetro de la hoja de tensión.	58 ± 2
Energía Restaurada (Resiliencia), porcentaje.	46 ± 2
Gravedad Específica	1.13 ± 0.20
Resistencia mínima a la Tensión, MPa (psi)	13.8 (2000)
Elongación mínima, porcentaje.	500
Durómetro del caucho de la zapata.	58 ± 2

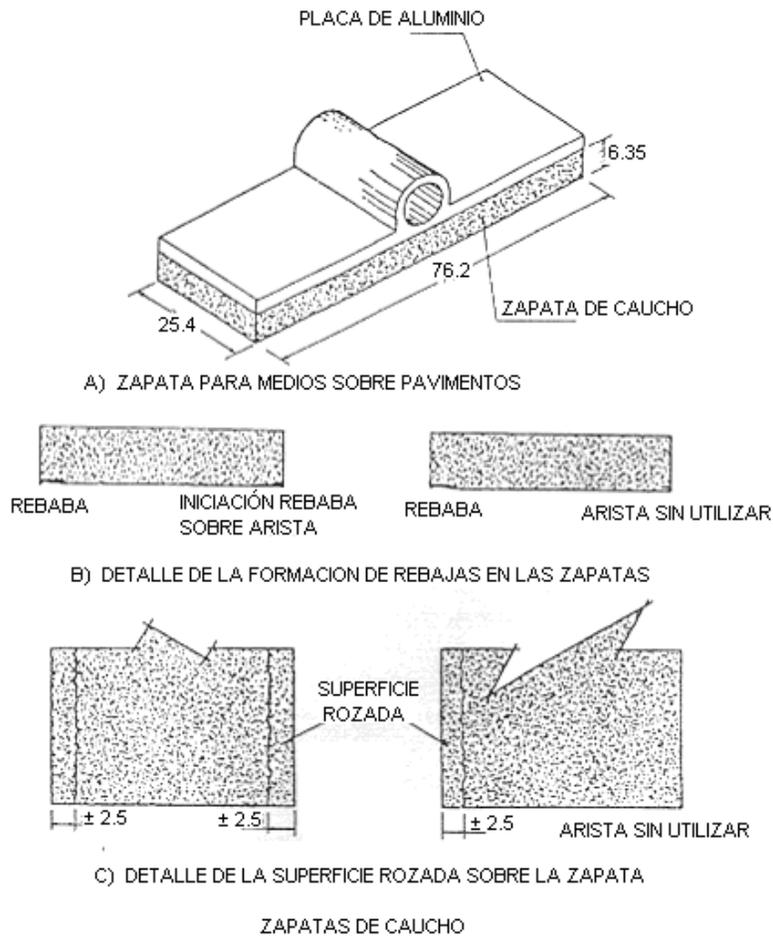


Figura 4. Zapatas de caucho.

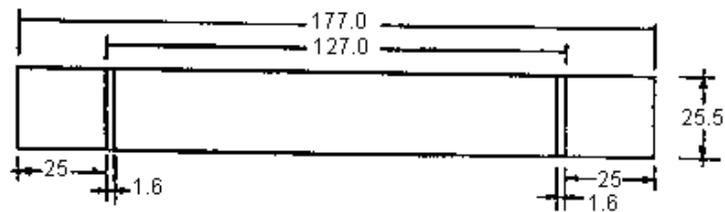


Figura 5 Regilla graduada para ajustar la longitud de medida sobre la superficie.

## 5. MUESTRA DE ENSAYO

- 5.1** *En el campo* – La superficie de ensayo en el campo debe estar libre de partículas sueltas y se limpiará con un chorro de agua limpia a presión. La superficie de ensayo no tiene que ser horizontal ya que el instrumento puede ser nivelado en la posición de trabajo, utilizando únicamente los tornillos de nivelación y la cabeza del péndulo despejará la superficie.
- 5.2** *En el laboratorio* – Las muestras de laboratorio deben estar limpias de partículas sueltas y se deben sostener firmemente de tal forma que no se muevan con la fuerza de l péndulo.
- 5.2.1** Las Muestras de laboratorio planas deben tener una superficie de ensayo de al menos 89 x 152 mm.
- 5.2.2** Las Muestras de laboratorio para la prueba de pulimento acelerado con llanta, deben tener una superficie de ensayo de, al menos, 45 x 90 mm y deben ser curvas en un arco de círculo de 406 mm de diámetro.

## 6. PREPARACIÓN DEL APARATO

- 6.1** *Nivelación* – Se nivela el instrumento correctamente girando los tornillos de nivelación hasta que la burbuja está centrada en el nivel.
- 6.2** *Ajuste de Ceros* – Se debe levantar el mecanismo del péndulo soltando los tornillos de seguridad (ubicados directamente detrás del pivote del péndulo) y gire cualquier de los pares de tornillos de la cabeza móvil ubicados en el centro del instrumento, para permitir que la zapata realice libremente el movimiento oscilatorio en la superficie de ensayo. Se aprietan firmemente los tornillos de seguridad. Se coloca el péndulo en la posición horizontal y se rota la aguja indicadora en el sentido de las manecillas del reloj hasta que llegue a la posición de reposo contra el tornillo de ajuste en el brazo del péndulo. Se suelta el péndulo y anota la lectura de la aguja indicadora. Si la lectura no es cero, se afloja el anillo del seguro y se gira suavemente el anillo de fricción en el eje de soporte y se asegura nuevamente. Se repite la prueba y se ajusta el anillo de fricción hasta que el movimiento oscilatorio del péndulo lleve la aguja a cero.
- 6.3** *Ajuste de la longitud de rozamiento de la zapata:*
- 6.3.1** Con el brazo del péndulo colgando libremente, se coloca el espaciador debajo del tornillo de ajuste de la palanca de elevación de la zapata de caucho. Se bajará entonces el péndulo de tal manera que el borde de la zapata justamente toque la superficie a medir. Se asegura la cabeza del péndulo firmemente, se levanta la palanca de elevación y se remueve el espaciador.
- 6.3.2** Se levanta la zapata por medio de la palanca de elevación, se mueve el péndulo a la derecha, se baja la zapata y se permite que el péndulo se mueva lentamente hacia la izquierda hasta que el borde de la zapata toque la

superficie de ensayo. Para verificar la longitud de contacto o rozamiento, se fija el medidor de la longitud de contacto a un lado de la zapata y paralelo a la dirección del movimiento oscilatorio. Se levanta la zapata usando la palanca de elevación y se mueve el péndulo a la izquierda y luego lentamente se baja hasta que el borde de la zapata vuelva nuevamente a reposo en la superficie. Si la longitud de contacto no está entre 124 y 127 mm en muestras de superficie plana y entre 75 y 78 mm en muestras curvas de pulimento con llanta, medido entre los sitios de contacto de los bordes de la zapata de caucho en su recorrido, se ajusta levantando o bajando el aparato con el tornillo frontal de nivelación. La longitud de deslizamiento puede también ser ajustada por medio de los tornillos de control de la altura vertical. Se ajusta nuevamente el nivel del aparato, si es necesario. Se coloca el péndulo en posición horizontal y se rota la aguja indicadora en el sentido de las manecillas del reloj hasta que ésta se detenga contra el tornillo de ajuste del brazo del péndulo.

## 7. PROCEDIMIENTO

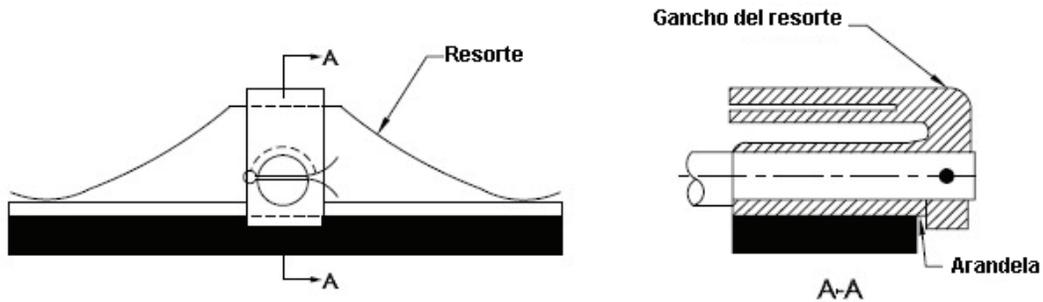
- 7.1 Se debe aplicar suficiente agua para cubrir el área totalmente. Se ejecutan varios movimientos oscilatorios hasta obtener resultados consistentes, pero no se registran las lecturas.

*Nota 3.-* Siempre se debe sostener el péndulo durante la parte inicial de su recorrido de regreso, antes que pase por la posición vertical. Mientras que el péndulo se devuelve a su posición inicial, se levanta la zapata con su palanca de elevación para prevenir el contacto de la zapata con la superficie de contacto. Con anterioridad a cada movimiento oscilatorio, la aguja indicadora debe ser devuelta a su posición de descanso contra el tornillo de ajuste.

- 7.2 Se vuelve a mojar la superficie de ensayo y sin demora se realizan cuatro nuevos movimientos oscilatorios remojando la zona de ensayo antes de cada disparo y se registran los resultados.

*Nota 4.-* Se deben utilizar cuatro movimientos oscilatorios cuando la zapata tenga caucho natural y cinco si tiene el tipo de caucho recomendado por la AASHTO M 261, Tablas 1 y 2. Se debe tener cuidado de que la zapata permanezca paralela a la superficie durante el movimiento oscilatorio y no rote, de tal manera que una punta haga el contacto inicial y no todo el borde. Se dispone de información que demuestra que los giros de la zapata pueden dar origen a lecturas erradas. La instalación de un pequeño resorte plano puede atenuar el problema. Este resorte se puede insertarse en una ranura del gancho de resorte y asegurarse con un pasador como se muestra en la Figura 6. EL borde libre del resorte se puede apoyar sobre la platina posterior de la zapata de tal manera que le impida girar.

- 7.3 Se debe revisar nuevamente la longitud de contacto de la zapata de acuerdo con la Sección 6.3.
- 7.4 Se debe revisar nuevamente el ajuste del cero de acuerdo con la Sección 6.2.



**Figura 6.** Gancho del resorte y resorte para impedir la rotación de la zapata

## 8. INFORME

El informe debe contener lo siguiente:

- 8.1 Valores individuales en unidades C.R.D o valores de pulimento y los valores promedio de C.R.D o promedio de los valores de pulimento para cada superficie de ensayo.
- 8.2 Temperatura de la superficie ensayada .
- 8.3 Tipo, edad, condición, textura y localización de la superficie de ensayo.
- 8.4 Tipo y fuente de donde proviene el agregado para la prueba de pulimento.
- 8.5 Tipo y edad de la zapata de caucho.

## 9. PRECISION Y TOLERANCIAS

*Nota 5.-* La siguiente información se refiere únicamente a la precisión y tolerancias de las unidades C.R.D.

- 9.1 Pruebas repetidas muestran desviaciones estándar como sigue:

Zapata de caucho Británica:	1.0 unidad C.R.D
Zapata de acuerdo con la norma M261:	1.2 unidades C.R.D

En ambos casos la variabilidad depende en buena parte de las condiciones del equipo. Como no hay una marcada correlación entre la desviación estándar y la media aritmética de un grupo de resultados de ensayo, parece que la magnitud de las desviaciones estándar son más pertinentes para este ensayo, independientemente de los niveles promedios de fricción que han sido ensayados.

**9.2** La relación, si existe, entre unidades C.R.D. observadas con un valor real de nivel de fricción, no ha sido y probablemente no podrá ser estudiada. Como resultado, la precisión y tolerancia de esta prueba en relación con un valor real de nivel de fricción medido, no puede ser evaluada y únicamente la repetitividad es aplicable al método.

**9.3** Se determina el error de ensayo como sigue:

$$E = \frac{t(\sigma)}{\sqrt{n}}$$

donde:

$E$  = error de ensayo,

$t$  = curva de distribución normal de 1.96 o 2.0 redondeado,

$\sigma$  = desviación estándar de resultados individuales (números C.R.D.), y

$n$  = número de ensayos.

**9.4** Con el fin de asegurar que el error de ensayo este dentro de 1.0 C.R.D a un nivel de confianza del 95% (correspondiente a una curva normal de 1.96 o 2.0 redondeado), el siguiente número de registros de movimientos oscilatorios es requerido por muestra:

Zapata Británica de caucho natural: 4

Zapata de acuerdo con la norma M261: 5

## **10. NORMAS DE REFERENCIA**

AASHTO T 278 – 90 (1999)

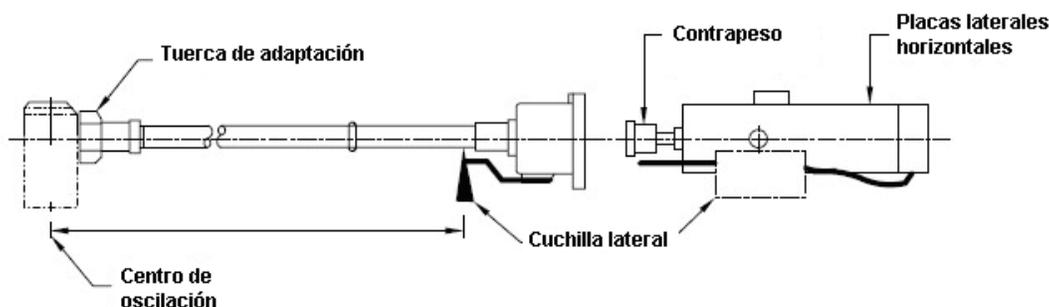
AASHTO M – 261 – 96 (2004)

NLT 175/88

**ANEXO  
(Información obligatoria)**

**A. CALIBRACIÓN**

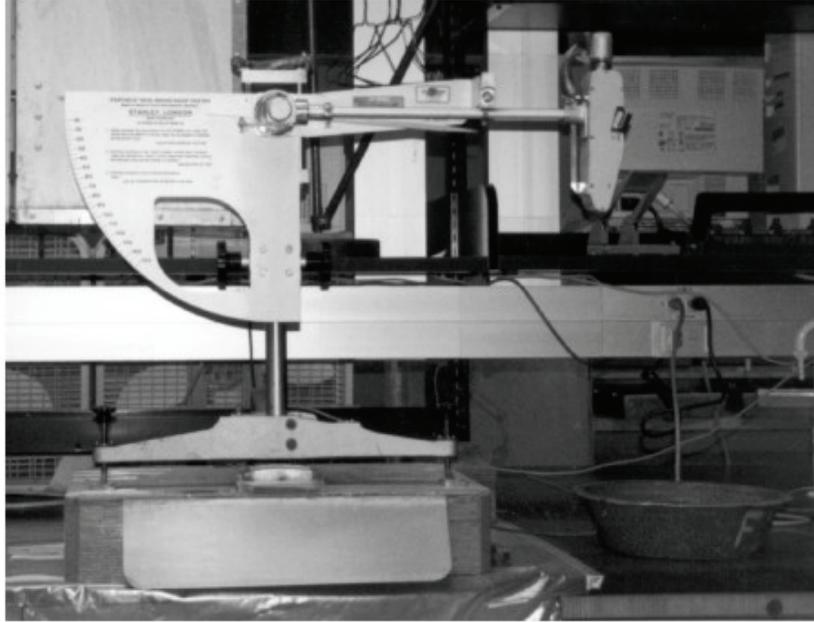
- A.1** *Peso del péndulo* – El brazo del péndulo con la zapata de caucho puesta debe ser desconectado del instrumento y pesado con una aproximación al gramo (1 g).
- A.2** *Centro de Gravedad* – El centro de gravedad del péndulo con la zapata de caucho puesta debe ser determinado, colocando el ensamblaje del péndulo sobre el filo de un cuchillo y experimentalmente localizar el punto de equilibrio, como se muestra en la Figura 7. La tuerca del adaptador debe ser sostenida en el extremo más lejano del brazo con una cuña liviana de papel. Después de obtener el punto de equilibrio, la posición del peso de balance debe ser ajustado hasta que los lados del pie del péndulo estén horizontales.



**Figura 7.** Montaje del péndulo mostrando la localización del punto de balance

- A.3** *Distancia desde el centro de gravedad hasta el centro de oscilación* – Con el péndulo reconectado al dispositivo de prueba y sin la cubierta del apoyo, la distancia debe ser medida desde el centro de oscilación (centro de la tuerca de apoyo) hasta el punto de equilibrio (centro de gravedad). Esta distancia debe ser medida directamente con una aproximación de 1 mm (0.04”).
- A.4** *Carga de la zapata* – El péndulo debe ser sujetado a una agarradera adherida a la placa de la escala del dispositivo de prueba y este se debe colocar y nivelar en un trípode como se muestra en la Figura 8. Se inserta el espaciador. Se ajusta una balanza de plato, con un montaje de apoyo (Nota 5) en un plato y pesas para tarar en el otro plato, de tal forma que la aguja de la balanza este en el centro de la escala de lectura. El péndulo, con la zapata, se debe bajar utilizando los tornillos de ajuste de altura vertical del dispositivo de prueba, hasta que la zapata este aproximadamente a 0.25 mm (0.01”) del tope de la superficie del montaje de apoyo. Se aseguran los tornillos de ajuste de altura vertical y se quita el espaciador. Esto causara un desequilibrio, lo cual debe ser parcialmente compensando añadiendo pesas al plato opuesto, con el fin de lograr una aproximación del indicador con respecto al centro de la escala de lectura de la balanza de 200gr. Para completar el proceso de balance, la aguja se regresa al centro de la escala de lectura, añadiendo agua gradualmente en un cilindro graduado. Se vacía el cilindro y se repite el vertido de agua. Se guarda el peso promedio requerido para elevar

la zapata de forma tal que la aguja de la balanza este en el centro de la escala (Nota 6). Si la carga promedio de una zapata de 76.2 mm (3") de ancho y el plato de la balanza no están dentro de los requisitos establecidos en la Sección 5.1, se ajuste la tuerca de tensión del resorte mostrada en la Figura 2 y se redetermina la carga de la zapata.



**Figura 8.** Arreglo del Péndulo Británico, mostrando el montaje del péndulo y de la balanza de platos utilizados para medir la carga de la zapata.

*Nota 6.-* El montaje de apoyo puede ser tipo escalera de apoyo con una placa superior rígida de movimiento libre o un arreglo similar tal que no se introduzca ninguna carga horizontal mientras se mide la carga vertical de la zapata.

*Nota 7.-* Puede ser necesario mover los platos de la balanza hacia arriba y hacia abajo para operar el resorte con el fin de lograr lecturas parejas y consistentes. Si las medidas de la carga de la zapata siguen siendo irregulares después de operar el resorte, se quita el panel lateral y de la base del pie del péndulo y se revisa la limpieza de las superficies de apoyo y del soporte de cuña como se muestra en la Figura 2 y se determina la carga de la zapata.