



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO  
DRENANTE, UTILIZANDO ASFALTOS MODIFICADOS PARA  
SUPERFICIES DE RODADURA**

**Osmar Libardo Ramírez Turcios**

Asesorado por el Ing. Irvin Benjamín Martínez Quevedo

Guatemala, agosto de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO  
DRENANTE, UTILIZANDO ASFALTOS MODIFICADOS PARA  
SUPERFICIES DE RODADURA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**OSMAR LIBARDO RAMÍREZ TURCIOS**  
ASESORADO POR EL ING. IRVIN BENJAMÍN MARTINEZ  
QUEVEDO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Mario Rodolfo Corzo Àvila
EXAMINADOR	Ing. Sergio Augusto Melgar Murcia
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO DRENANTE,  
UTILIZANDO ASFALTOS MODIFICADOS PARA SUPERFICIES DE  
RODADURA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 6 de octubre de 2008.



Br. Osmar Libardo Ramírez Turcios

Guatemala, 10 de julio de 2,009

Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Guatemala

Estimado Ingeniero:

Atentamente me permito presentar a usted el trabajo de tesis titulado **DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO DRENANTE UTILIZANDO ASFALTOS MODIFICADOS PARA SUPERFICIES DE RODADURA**, desarrollado por el estudiante universitario Osmar Libardo Ramírez Turcios, manifestando que el mismo cumple satisfactoriamente con los propósitos planteados en el programa del mismo y por la importancia en la rama del diseño de carreteras, la doy por aprobada.

Sin otro particular, me suscribo de usted atentamente,

  
Ing. Irvin Benjamín Martínez Quevedo

Asesor

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.26.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO DRENANTE, UTILIZANDO ASFALTOS MODIFICADOS PARA SUPERFICIES DE RODADURA**, presentado por el estudiante universitario **Osmar Libardo Ramirez Turcios**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Triunfo Paiz Recinos  
DECANO

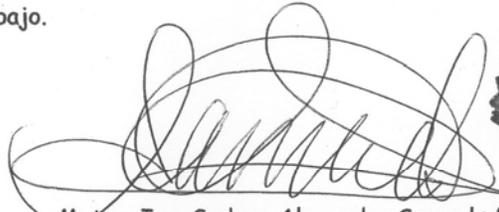
Guatemala, agosto de 2009



/gdech



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Irvin Benjamín Martínez Quevedo y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Osmar Libardo Ramírez Turcios, titulado DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO DRENANTE, UTILIZANDO ASFALTOS MODIFICADOS PARA SUPERFICIES DE RODADURA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, agosto 2009

/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 21 de julio de 2 009

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

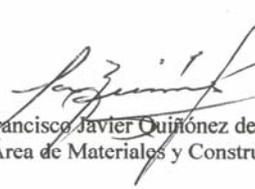
Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación “**Diseño de mezcla de concreto asfáltico drenante utilizando asfaltos modificados para superficies de rodadura**”, realizado por el estudiante universitario **Osmar Libardo Ramírez Turcios**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Irvin Benjamín Martínez Quevedo.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Ramírez Turcios**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

Cc archivo

## **AGRADECIMIENTOS A:**

DIOS: Todopoderoso, por darme la vida y mantenerme en el buen camino para alcanzar mi carrera profesional.

Mi asesor: ingeniero Irvin Benjamín Martínez Quevedo, por su apoyo tanto intelectual como moral, sin el cual no hubiese podido elaborar el presente trabajo.

Los Ingenieros: Pedro Roberto Martínez, Selvin Aristides Quevedo, Henri Leonardo Quevedo, Carlos Morales, Ranfis Perez, por el apoyo que me brindaron en todo momento.

La empresa: Concal-Superdicon, por su valiosa colaboración.

Todas las personas que de alguna manera colaboraron con el desarrollo del presente trabajo.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **MIS PADRES**

**Jesús Francisco Ramírez Ortíz  
Armenia de Jesús Turcios López**  
Porque gracias a su gran esfuerzo y amor, me dieron las fuerzas para alcanzar esta meta.

### **MIS HERMANOS**

**Elmer Alexsander y Enio Rolando**  
Por su apoyo incondicional y sus buenos consejos en todo momento.

### **MI HIJO**

**Angel Estuardo**  
Que me motivó para dar el último paso para la elaboración del presente trabajo, esperando que esto sea el primer buen ejemplo que pueda brindarle.

### **MIS SOBRINOS**

**Enio Francisco, Krista Sofía y Shirley Estephany.**  
Porque los quiero como si fueran mis hijos.

### **MIS AHIJADOS MIS ABUELOS**

Con todo cariño y aprecio.  
**Julio Ramírez  
María Justina Ortiz (Q.E.P.D)  
Juan Turcios (Q.E.P.D)  
Natalia López**

### **MIS PRIMOS**

Por su cariño y sabios consejos.  
Por todos los momentos felices que hemos vivido, en especial Ronald y Julio.

### **MIS PADRINOS MIS FAMILIARES**

Por su apoyo y buenos consejos.  
Por todo el apoyo que me brindaron.

Mis amigos y compañeros de trabajo.

A todas las personas, que de alguna manera colaboraron para alcanzar esta meta.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

La Facultad de Ingeniería

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	V
<b>GLOSARIO</b>	VII
<b>RESUMEN</b>	IX
<b>OBJETIVOS</b>	XI
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XIII
<b>1. CAPA DRENANTE</b>	1
1.1. Carpeta de rodadura	1
1.2. Conceptualización	2
1.3. Metodologías de diseño	3
1.3.1. Cántabro	4
a. Elección de curva granulométrica	5
b. Elección de porcentaje de asfalto	5
1.3.2. Guía de diseño de asfalto de granulometría abierta( <i>Open Graded Asphalt Design Guide</i> )	6
1.3.3. RP (Rioja & Palma)	7
1.3.4. Tracción indirecta	7
<b>2. ASFALTOS MODIFICADOS</b>	9
2.1. Generalidades	9
2.1.1. Conceptualización	9
2.1.2. Propiedades físicas	10
2.1.3. Tendencias	11
2.2. Tipos de Modificadores	12
2.2.1. Plastómeros	12

2.2.2. Elastómeros	13
2.3. Fundamentos de modificación	14
<b>3. DISEÑO DE MEZCLA DRENANTE</b>	<b>17</b>
3.1. Consideraciones generales	17
3.2. Requisitos de los materiales	18
3.2.1. Características generales	18
3.2.2. Características del agregado grueso	19
3.2.2.1 Partículas trituradas	19
3.2.2.2 Partículas planas y/o alargadas	19
3.2.2.3 Abrasión	19
3.2.2.4 Desintegración al sulfato de sodio	19
3.2.3. Características del agregado fino	20
3.2.3.1 Abrasión	20
3.2.3.2 Equivalente de arena	20
3.2.3.3 Índice plástico	20
3.3. Ensayos de Laboratorio	20
3.3.1. Ensayos a los Materiales	20
3.3.1.1 Partículas trituradas	21
3.3.1.2 Partículas planas y/o alargadas	23
3.3.1.3 Abrasión	25
3.3.1.4 Desintegración al sulfato de sodio	28
3.3.1.5 Equivalente de arena	30
3.3.1.6 Plasticidad	33
3.3.1.7 Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua	37

3.3.1.8	Porcentaje de asfalto	39
3.3.1.9	Granulometría	41
3.3.1.10	Gravedad específica teórica máxima	43
3.3.2.	Ensayos a la Mezcla	45
3.3.2.1	Densidad relativa (volumétrica)	45
3.3.2.2	Permeabilidad	47
3.3.2.3	Características de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste	48
3.3.2.4	Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas de granulometría abierta, mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste	51
<b>4.</b>	<b>CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD</b>	<b>55</b>
4.1.	Control de Calidad	55
4.1.1	Preparación de superficie existente	55
4.1.2	Transporte de mezcla	56
4.1.3	Extensión de la mezcla	56
4.1.4	Compactación de la mezcla	57
4.1.5	Juntas de trabajo	58
4.1.6	Apertura al tránsito	59
4.2.	Aseguramiento de Calidad	60

4.2.1. Generalidades	60
4.2.2. Control de la mezcla	60
4.2.2.1    Contenido de asfalto	60
4.2.2.2    Granulometría de los agregados	60
4.2.3. Calidad de la mezcla	61
4.2.3.1    Resistencia	61
4.2.3.2    Vacíos de aire	61
4.2.3.3    Permeabilidad	62
4.2.4. Calidad del producto final	62
4.2.4.1    Compactación	62
4.2.4.2    Espesor	62
<b>5. MANTENIMIENTO</b>	<b>63</b>
5.1. Tipos de mantenimiento	63
5.2. Vida útil	64
<b>6. CASO PRÁCTICO</b>	<b>67</b>
6.1. Generalidades	67
6.1.1. Requisitos de los materiales	71
6.1.2. Ensayos prácticos de laboratorio	78
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>87</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>93</b>

# 1. CAPA DRENANTE

## 1.1 Carpeta de rodadura

Es la capa superior de un pavimento que soporta directamente las solicitaciones del tráfico, absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales. Aporta las características funcionales, puede estar constituida por varias capas. Tiene como objetivo proporcionar una superficie de rodadura durable, segura, confortable y estética. Como todas las exigencias deseables para una carpeta de rodadura no pueden optimizarse de forma simultánea, se recomienda equilibrar las propiedades comparadas para llegar a las soluciones más satisfactorias, no obstante, hay que establecer un balance entre las características útiles o imprescindibles para el usuario.

Es de vital importancia el uso de agregados de alta calidad y de aditivos en la carpeta de rodadura, debido a las solicitaciones a que están sometidas. Es por ello que actualmente la utilización de asfaltos modificados se ha generalizado para carreteras, mayormente en la carpeta de rodadura, persiguiendo así la optimización de la respuesta mecánica y de la durabilidad de la mezcla, aunque todo ello suponga un costo mayor para el pavimento; pero, asegurando un menor costo de mantenimiento y por consiguiente mayor vida útil para la carretera. También es importante mencionar los requerimientos de seguridad al tránsito exigidos hoy en día a la superficie de rodadura, esto nos lleva a desarrollar materiales con mejores características que los utilizados con anterioridad.

## 1.2 Conceptualización

La capa drenante se define como una mezcla asfáltica compuesta de un cemento asfáltico modificado con polímeros, áridos (incluido filler) y eventualmente aditivos que ayudan a la adherencia entre agregados y asfalto. Dichas mezclas, utilizadas en superficies de rodadura, comúnmente llamada capa drenante, son fabricadas en plantas asfálticas en caliente y colocadas en obra a temperatura muy superior a la de ambiente y en espesores menor o igual a 4 centímetros y 1.2 centímetros aproximadamente de tamaño máximo del agregado, de tal forma que el porcentaje de vacíos de aire de la mezcla sea igual o mayor a 20%.

La capa drenante es una mezcla asfáltica diferente a las convencionales, que ha sido desarrollada utilizando mezclas en caliente para contrarrestar los efectos de los aumentos de las cargas del tráfico tanto en magnitud como en frecuencia, con la ayuda de los asfaltos modificados, cabe destacar que no sólo son utilizadas como superficie de rodadura, también están contempladas como capa de alivio de fisuras, cuando son cimentadas sobre una capa muy rígida. El principal objetivo de la Mezcla Drenante al utilizarla como carpeta de rodadura es minimizar el fenómeno de hidropilaje, reducir el nivel de ruido y proveer a la vía de una excelente rodadura, esto se debe a su elevado porcentaje de vacíos interconectados entre sí, formando canales de drenaje consiguiendo así, que el agua de lluvia caída sobre la capa drenante se evacue rápidamente por filtración, favoreciendo su eliminación en la superficie de la carpeta de rodadura (ver figura 1.1); para ello es necesario tener una base de sustentación impermeable y un peralte adecuado (mayor a 2.5%). La seguridad del usuario es un factor que no debemos olvidar, es por ello que la superficie de rodadura presenta una alta macrotextura o coeficiente de fricción, efecto de la dosificación y tamaño máximo del agregado, que ayuda a la adherencia



**Tabla I. Metodologías de diseño**

NOMBRE	ORIGEN
Cántabro	Española
Open Graded Asphalt Design Guide	Australiana
RP (Rioja y Palma)	Chilena
Tracción Indirecta	Brasileña

### **1.3.1 Cántabro**

Es un ensayo de pérdida por desgaste en la máquina Los Ángeles, para la caracterización mecánica de la mezcla, representada por briquetas fabricadas de acuerdo a la metodología Marshall, con la diferencia que se hacen con una energía de compactación de 50 golpes por cara, el ensayo Cántabro puede realizarse tanto en estado seco como en húmedo.

Cántabro seco: 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: permite valorar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua en la mezcla y el efecto que produce el empleo de asfaltos modificados en la mejora de esa propiedad.

La metodología cántabro, contempla los siguientes pasos:

- a. **Elección de la curva granulométrica:** se muestrea el material apilado en la planta de trituración y se cuartea, con el material cuarteado se realiza la granulometría de los agregados, con los datos de la granulometría se realiza el análisis para obtener los porcentajes de las distintas fracciones de los agregados, que cumplan con una curva centrada y paralela a la curva de especificación CAD 12 (ver anexo 1).
- b. **Elección del porcentaje de asfalto:** el porcentaje mínimo de asfalto modificado es de 4.5%, el máximo es aquel que provoque escurrimiento en la mezcla, el óptimo es aquel que cumpla con los siguientes requisitos (ver tabla II)

**Tabla II. Requisitos de mezcla**

Vacíos de aire, %	Mayor	20
Permeabilidad, seg.	Menor	15
Desgaste en seco, %	Menor	25
Desgaste en húmedo, %	Menor	40

Para el diseño se realizan los ensayos especificados, (granulometría, gravedad específica teórica máxima, densidad relativa, permeabilidad y efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas de granulometría abierta) y se determina para qué porcentaje de asfalto se cumple con las exigencias establecidas (porcentaje de vacíos de aire, permeabilidad y desgaste en condición seca y húmeda), realizándose, de ser necesario, las correcciones que garanticen el cumplimiento de dichas especificaciones.

Para la determinación de la densidad aparente de cada briqueta, el volumen se obtiene de forma geométrica. Teniendo la densidad y la gravedad específica teórica máxima (RICE), se procede a calcular el porcentaje de vacíos de aire.

### **1.3.2 Guía de diseño de asfalto de granulometría abierta (*open graded asphalt design guide*)**

Es una metodología australiana, que se basa en un procedimiento racional de diseño, cuya guía de diseño hace la composición de ensayos y determinaciones características, mediante cartas de diseño.

Rangos de aplicación que sugiere la guía de diseño.

- Tipo I, TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) < 500,000 ESAL
- Tipo II, TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) > 500,000 ESAL

La resistencia a la desintegración y la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua, en la mezcla, son reveladas mediante los ensayos, cántabro en seco y en húmedo, respectivamente. Por otra parte, la exudación de asfalto es considerada mediante el ensayo de escurrimiento. La guía de diseño consta de:

- Selección del tamaño máximo nominal del agregado (TMN)
- Selección de la granulometría
- Selección del asfalto de prueba. (Asfalto efectivo)

Existe un mínimo contenido de asfalto referido al tamaño máximo nominal 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.

### **1.3.3 RP (Rioja & Palma)**

Es una metodología chilena desarrollada por los Ing. Héctor Rioja y Gabriel Palma, de aquí proviene las siglas **RP**. 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 una energía de compactación de 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.

Para el ensayo, se especifica una temperatura de 20°C, dejando las probetas enfriar a esta temperatura y posteriormente colocándolas en forma vertical en una prensa Marshall. En esta disposición son penetradas a una velocidad de 1 mm/min por un pistón de acero de 50 mm de diámetro y un largo de 105 mm adaptado al aro dinamométrico de la prensa.

Para realizar el proyecto de una mezcla por esta metodología, se escoge la granulometría, se establecen distintos porcentajes de asfalto, se moldean tres probetas por cada porcentaje y se realiza el ensayo de penetración.

Los distintos esfuerzos de penetración son graficados para cada tipo de mezcla y sus respectivos porcentajes de asfalto. De dicha gráfica se obtiene el máximo esfuerzo de penetración, que corresponde a un porcentaje de asfalto que es adoptado como el Asfalto de Diseño.

### **1.3.4 Tracción indirecta**

La determinación de la resistencia a tracción indirecta en las mezclas bituminosas representa un parámetro mecánico que puede resultar una

herramienta sumamente útil para evaluar la calidad del proceso constructivo de la capa asfáltica, al valorar su cohesión en la mezcla.

Se ha deducido que existe una correlación entre la densidad y la resistencia a tracción indirecta de la mezcla, y que ésta última es un parámetro capaz de evaluar a la mezcla con mayor sensibilidad que la obtenida mediante el uso de la densidad, pues se ha demostrado que puede conseguirse la misma densidad con temperaturas bajas y una elevada energía o con mayor temperatura y menor energía, resultando la cohesión conseguida mayor en este último caso.

A partir del análisis de estos resultados se han recomendado valores mínimos a conseguir en cada una de las mezclas estudiadas para establecer un FACTOR DE CALIDAD, en función de la diferencia entre la resistencia de la mezcla fabricada y la conseguida tras su extensión y compactación en obra. Este factor, varía con la calidad conseguida en cada obra, ya que cuanto menor sea el factor mayor es la calidad y más semejanza existe entre el producto final y la mezcla proyectada en laboratorio.

El conocimiento de los valores de tracción indirecta en laboratorio es una herramienta más, para determinar el posible comportamiento de la mezcla en función de su cohesión, pero el control más importante que se realiza a la capa terminada es determinar la densidad de la mezcla en laboratorio con el método Marshall y compararla con la obtenida en el campo.

## **2. ASFALTOS MODIFICADOS**

### **2.1 Generalidades**

#### **2.1.1 Conceptualización**

El asfalto es un material con múltiples aplicaciones, su constitución química está compuesta en su mayoría por carbono e hidrógeno en forma de hidrocarburos junto a otros elementos en menor cantidad. Generalmente la estructura del asfalto se compone de asfáltenos que son los responsables de su consistencia o dureza y los maltenos que aportan la adhesividad del material. Sin embargo, hay que enfatizar que la composición química es extremadamente compleja y distinta entre uno y otro asfalto, el significado práctico de esto, es que las características del asfalto son singulares y dependen, entre otros factores, del origen del petróleo crudo, del proceso de destilación, del manejo posterior del residuo asfáltico y de su historia térmica. En consecuencia, el usuario de este material debe tener una preocupación permanente y dinámica en los controles de calidad asociados al producto en sí y a todos los procedimientos dispuestos para su aplicación. Por ejemplo, tener nuevas solicitaciones de tránsito y utilizar los mismos espesores y materiales, el período de vida del pavimento va disminuyendo considerablemente y los costos de mantenimiento o reconstrucción se incrementarán sustancialmente, es por ello que surge la necesidad de investigar y encontrar materiales de mejor calidad, llegando así a la modificación de las características que rigen el comportamiento de los materiales, a fin de volverlos más resistentes bajo condiciones adversas de trabajo.

El asfalto modificado consiste en agregar a un asfalto convencional de refinería productos como polímeros, látex sintético o natural, fibras cortas de acero, vidrio o asbesto, asfáltenos naturales, hule molido de neumáticos y modificadores de tipo catalítico. Es importante mencionar que el tipo de modificador a utilizar está en función del tipo de mezcla asfáltica, ya que es importante tener en cuenta la compatibilidad que este pueda tener con el polímero y de la aplicación que tenga dentro del pavimento.

El objetivo es obtener en el asfalto modificado mayor adherencia con los agregados pétreos, mayor resistencia al envejecimiento y a los agentes climatológicos, o una mejor capacidad de soporte y un incremento en las propiedades de elasticidad, flexibilidad, cohesión y viscosidad, por consiguiente lograr elevar en las mezclas asfálticas la resistencia al esfuerzo cortante, a la deformación y a la fatiga.

### **2.1.2 Propiedades físicas**

Físicamente, el asfalto convencional es un material de color negro brillante, con una consistencia semisólida a temperatura ambiente, presenta un alto grado de adhesividad y muy resistente a la mayoría de componentes dañinos, es diluido con facilidad en otros componentes del petróleo (*gasolina, kerosene, diesel, etc.*), también es altamente hidrófugo y tiene por lo general una buena afinidad con los áridos. Además, es un material termoplástico, es decir, su condición de estado es dependiente de la temperatura, o sea, en ambientes fríos se comporta como un sólido elástico, a temperaturas intermedias o ambiente normal presenta una condición semisólida o visco elástica y a medida que se eleva la temperatura pasa a ser un material de flujo

plástico muy viscoso, para tornarse francamente líquido a temperaturas superiores a los 110 °C o 120 °C.

Los asfaltos modificados presentan mejores propiedades mecánicas y reológicas, con una mayor adhesividad a los agregados pétreos y con una menor susceptibilidad a la temperatura, así como una mayor resistencia al envejecimiento y a la fisuración por fatiga por ello se ha hecho necesario acelerar la aplicación de las nuevas tecnologías que ya se emplean con éxito en otros países, en los que se han logrado mejorar notablemente el comportamiento de los pavimentos flexibles y por consiguiente el incremento de la vida útil de éstos.

### **2.1.3 Tendencias**

En el caso específico del material asfalto se ha logrado avances significativos al tratar el cemento asfáltico original con otras sustancias que permiten mejorar su comportamiento cuando es sometido a distintas condiciones, por ejemplo, climas extremos, tránsito de vehículos muy pesados y ambientes agresivos.

Se ha avanzado mucho con los asfaltos modificados, cuyo empleo actual se ha limitado a las capas de rodadura de las carreteras de tráfico intenso y pesado, pero cuyas características particulares; como, mejor adhesividad a los agregados, mayor resistencia al envejecimiento, a la formación de roderas y a la fisuración por fatiga, hacen deseable su aplicación generalizada. Tratar de modificar las características que rigen el comportamiento de los materiales, a fin de volverlos más resistentes bajo condiciones adversas de trabajo y a un bajo costo, ha sido uno de los retos de los avances técnicos en los últimos años.

## **2.2 Tipos de modificadores**

### **POLÍMEROS**

Sustancias macromoleculares, formadas por la asociación de una gran cantidad de moléculas sencillas, siendo su característica esencial su elevado peso molecular, su estabilidad bajo efectos de tiempo y temperatura y una actividad superficial iónica que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el asfáltico (Ver figura 2). El principal objetivo de los polímeros es poder llegar a las condiciones ideales del asfalto. Los polímeros utilizados con más frecuencia son:

- Caucho natural (NR)
- Copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA)
- Elastómero termoplástico de butadieno-estireno (SBS)

Atendiendo a su estructura y propiedades se clasifican en:

#### **2.2.1. Plastómeros**

Son polímeros solubles que se reblandecen por la acción del calor y pueden alcanzar un grado alto de fluidez, pero al estirarlos y sobrepasar la tensión de fluencia, no vuelven a su longitud original. Estos proporcionan rigidez, para evitar el ahueyamiento de mezclas asfálticas en climas cálidos. Los plastómeros más comunes son:

- Polietileno: es probablemente el polímero que más se utiliza en la vida diaria. Es el plástico más popular del mundo. Químicamente inerte.
- Polipropileno: fabricado de manera industrial, es un polímero lineal, cuya espina dorsal es una cadena de hidrocarburos saturados.

- Policloruro de Vinilo: comúnmente conocido como PVC (*polyvinyl chloride*), es un moderno, importante y conocido miembro de la familia de los termoplásticos.
- Poliestireno: es un polímero vinílico. Estructuralmente, es una larga cadena hidrocarbonada, con un grupo fenilo unido cada dos átomos de carbono.
- Poliamidas: polímeros lineales con grupos de amidas repetidas de forma regular a lo largo de la cadena principal. Es uno de los principales dentro del grupo de los plásticos técnicos.
- Copolímeros de Etileno-Acetato de Vinilo: se fabrica comercialmente por polimerización radical. Material termoplástico controlado por el peso molecular y el contenido del acetato de vinilo.

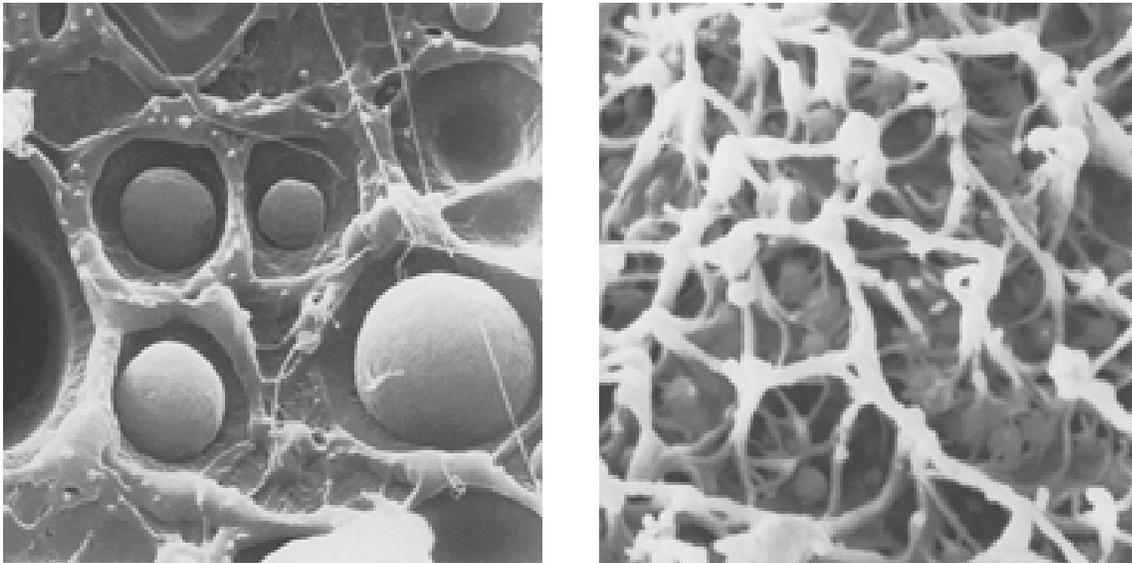
### **2.2.2. Elastómeros**

Son polímeros lineales amorfos, generalmente insaturados que al someterlos al proceso de vulcanización adquieren una estructura reticulada parcialmente, que le confieren sus propiedades elásticas, ya que al estirarlos vuelven a su posición original. Los elastómeros más comunes son:

- Caucho natural: se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. Se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex.
- Caucho etileno-propileno: se produce cuando el porcentaje de etileno supera un cierto valor y el material pasa a comportarse como un elastómero, con propiedades muy diferentes del polipropileno convencional.
- Caucho butadieno-estireno: es un elastómero termoplástico obtenido mediante la copolimerización aniónica de estireno y butadieno.

- Caucho policloropreno: es el polímero del cloropreno, la goma sintética conocida como neopreno.
- Elastómero termoplásticos: al elevar la temperatura se vuelven blandos y moldeables. Sus propiedades no cambian si se funden y se moldean varias veces.

**Figura 2. Estructura de asfalto modificado con polímeros**



### **2.3 Fundamentos de modificación**

Es normal e inevitable que los pavimentos sufran deterioro. Los tres principales factores que influyen en este deterioro son:

- a. Clima
- b. Deformaciones por tránsito
- c. Tiempo

El clima tiene que ver fundamentalmente con la temperatura promedio a la que se ve expuesto el pavimento, así como variaciones de temperatura por cuestiones climáticas y humedad propiciada por lluvia, por ejemplo las bajas temperaturas en los meses de invierno.

Las deformaciones se deben a las cargas impuestas por el tránsito vehicular. Los pavimentos se diseñan para una carga promedio que genera una deformación debida a la presión de las llantas y a la circulación de vehículos. Se ha comprobado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias, tanto mecánicas como de adhesión en una gama amplia de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tráfico. Sin embargo en la actualidad los grandes volúmenes de tránsito han superado los criterios de diseño de pavimentos, esto combinado al exceso de carga, así como el incremento en la presión de inflado de las llantas y condiciones climáticas, hacen que, utilizar asfaltos convencionales en la construcción de carreteras, actualmente no satisfagan sus expectativas tal como cumplir un determinado período de servicio, es decir, envejecimiento prematuro de las mezclas asfálticas, poca durabilidad de una superficie de rodadura, reflejándose en deformaciones y fisuraciones en carpetas asfálticas. Estos problemas son causados por la inadecuada selección de los materiales para los diseños de mezclas asfálticas, mal proceso de construcción, mantenimiento y por la calidad del asfalto convencional. La necesidad de optimizar las inversiones, provoca que en algunos casos las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes.

Por ejemplo, con asfaltos convencionales, aún con los grados más duros no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito, especialmente cuando se afrontan condiciones de temperatura alta.

Además con asfaltos con mayor dureza se corre el riesgo de formaciones de agrietamientos por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Una solución evidente fue modificar las características reológicas de los asfaltos para mejorar su comportamiento en los pavimentos; ello dio origen a nuevos asfaltos que fueron denominados Asfaltos Modificados, cabe mencionar que con la implementación de éstos, no se evita el deterioro del pavimento, pero sí puede ser controlado dicho deterioro, logrando con ello prolongar su vida de servicio. Al modificar el asfalto con polímero se logra (Ver figura 3):

- Asfalto más viscoso a temperaturas altas  
Reduce deformaciones permanentes (ahuellamiento), aumentando su recuperación a la torsión elástica.
- Asfalto mas flexible a temperaturas bajas  
Disminuye el fisuramiento (cuero de lagarto), aumentando su elasticidad
- Asfalto con mejor característica adhesiva

**Figura 3. Elasticidad del asfalto modificado**



## **3. DISEÑO DE MEZCLA DRENANTE**

### **3.1 Consideraciones generales**

El diseño de las mezclas drenantes se establece como un compromiso entre su porcentaje de vacíos de aire y su resistencia al desgaste, el equilibrio de estas propiedades, trae como consecuencia una mezcla óptima, por ejemplo al aumentar los vacíos de aire suele inducir una disminución de la resistencia al desgaste, esta última es necesaria para que la capa no se desintegre y pueda responder satisfactoriamente a las solicitudes del tránsito.

Las capas de mezcla asfáltica drenante, tienden a exponer la película de asfalto que rodea a los agregados, a la acción de los rayos ultravioleta, catalizador de la oxidación y la humedad, es por ello que se coloca un mayor espesor de película de asfalto cuando se busca extender el período de vida útil de la mezcla, ya que el rol del asfalto es mantener los agregados con suficiente cohesión para resistir desprendimientos y desplazamientos, pero el aumento de película repercute en el escurrimiento del asfalto, si éste fuera asfalto convencional; es aquí donde los asfaltos modificados con polímeros encuentran su aplicación.

El diseño de la mezcla se inicia con la selección del tamaño máximo nominal (TMN), ya que este es el vínculo con las funciones de la mezcla y el espesor de capa a construir. En general se recomienda que para tener una adecuada compactación en obra, el espesor de la capa de rodamiento posea 2.5 veces el tamaño máximo nominal del agregado y para disminuir posibles efectos de inestabilidad el espesor máximo se limita a 4 veces el tamaño

máximo nominal. Como conclusión la mayor economía y compatibilidad se obtiene con el mayor tamaño máximo nominal disponible.

Teniendo en cuenta que la composición granulométrica debe encuadrarse dentro de la especificada. El máximo porcentaje de vacíos de aire la provee un agregado de un sólo tamaño, sin embargo por condiciones de durabilidad es necesario una mínima cantidad de mortero para proveer, junto al asfalto modificado, la cohesión necesaria en la mezcla asfáltica.

### **3.2 Requisitos de los materiales**

#### **3.2.1 Características generales**

##### **Agregados**

Normalmente son de origen natural, siempre que cumplan las exigencias establecidas en la especificación técnica CAD 12 (ver anexo 1), que dependerá de las características de cada proyecto. Deben provenir de rocas sanas y no deben ser susceptibles a ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones mas desfavorables que puedan darse en la zona de empleo. Tampoco deben dar origen, con el agua, a disoluciones que causen daños a la estructura o contaminar corrientes de agua.

##### **Tipo de agregados según granulometría**

El tipo de agregado, según tamaño nominal, debe tener como mínimo tres grupos diferentes, por ejemplo ( $\frac{3}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ "), ( $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{1}{4}$ " y ( $\frac{1}{4}$ " a 0). Si es necesario cumplir las tolerancias exigidas para la granulometría de la mezcla, se debe aumentar el número de grupos o fracciones.

## **Almacenamiento**

Cada tipo de agregado, según tamaño nominal, debe almacenarse por separado. La forma y la altura de los acopios debe ser tal que se minimicen las segregaciones. Las partes de los acopios que hayan resultado contaminadas no deben ser empleadas.

### **3.2.2 Características del agregado grueso**

#### **3.2.2.1. Partículas trituradas (ASTM D 5821-95)**

En capas de rodadura, como mínimo el 75% de sus partículas debe tener 2 o más caras fracturadas y el resto por lo menos, una cara fracturada.

#### **3.2.2.2. Partículas planas y alargadas (ASTM D 4791)**

Deben de ser menor o igual a 8%.

#### **3.2.2.3. Abrasión (AASHTO T 96)**

El coeficiente de desgaste mecánico, realizado por medio de la máquina de los Ángeles, debe ser menor o igual a 25%.

#### **3.2.2.4. Desintegración al sulfato de sodio (AASHTO T 104 & ASTM C 88)**

El coeficiente de desgaste químico, por medio del sulfato de sodio a cinco ciclos, debe ser menor o igual a 10%.

### **3.2.3 Características del agregado fino**

#### **3.2.3.1. Abrasión (AASHTO T 96)**

El coeficiente de desgaste mecánico, realizado por medio de la Máquina de los Ángeles, debe ser menor o igual a 25%. Si se quiere mejorar las características de adherencia, se puede utilizar árido fino que no sea de la misma naturaleza del grueso, siempre y cuando la piedra de origen tenga un valor de abrasión menor o igual a 25%.

#### **3.2.3.2. Equivalente de arena (AASHTO T 176)**

Debe ser mayor o igual a 50%

#### **3.2.3.3. Índice plástico (AASHTO T 90)**

Debe ser menor o igual a 4%.

### **3.3 Ensayos de laboratorio**

#### **3.3.1 Ensayos a los materiales**

##### **3.3.1.1. Partículas trituradas**

##### **3.3.1.2. Partículas planas y/o alargadas**

##### **3.3.1.3. Abrasión (máquina de los Ángeles)**

##### **3.3.1.4. Desintegración al sulfato de sodio**

##### **3.3.1.5. Equivalente de arena**

##### **3.3.1.6. Plasticidad**

##### **3.3.1.7. Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua**

### 3.3.1.8. Porcentaje de asfalto

### 3.3.1.9. Granulometría

### 3.3.1.10. Gravedad específica teórica máxima

#### 3.3.1.1. Partículas trituradas

También se le denomina partículas fracturadas, el ensayo consiste prácticamente en determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de agregados pétreos.

Se debe de tomar en cuenta que la muestra para el ensayo deberá ser representativa y su peso dependerá del tamaño del agregado (Ver tabla III).

**Tabla III. Pesos para ensayo de partículas trituradas**

Tamiz	Peso (gr)
1 ½" -- 1"	2000
1" -- ¾"	1500
¾" -- ½"	1200
½" -- ⅜"	300

FUENTE: Normas I.N.V

#### **Procedimiento:**

- Se realiza muestreo de los materiales apilados en la planta de trituración.
- Se realiza cuarteo de la muestra.
- Realizar granulometría de la muestra cuarteada.
- Separar material según tamices y pesos. (Ver tabla III)

- Luego esparcir la muestra lo más que se pueda para facilitar la inspección.
- Separar las partículas que tengan una o más caras fracturadas, tomar en cuenta que se asume partícula fracturada cuando tiene 25% o más de fractura, siempre y cuando la fractura sea producida mecánicamente y no por naturaleza.
- Pesas las partículas fracturadas y anotar el valor.

Nota: se recomienda lavar la muestra para mejor inspección.

### Cálculos:

- Determinar el porcentaje de caras fracturadas de cada porción de la muestra.
- Multiplicar el porcentaje de caras fracturadas de cada porción, por su respectivo porcentaje del ensayo granulométrico.
- Se realiza la sumatoria del inciso anterior.
- Se realiza la sumatoria de los porcentajes del ensayo granulométrico.

Ejemplo:

TAMIZ	A	B	C	D	E
1 1/2" a 1"	2000	1800	90	10	9.0
1" a 3/4"	1500	1300	86.7	30	26.0
3/4" a 1/2"	1200	1000	83.3	25	20.8
1/2" a 3/8"	300	200	66.7	15	10.0
TOTAL (gr.)				80	65.8

A= Peso neto total (gr.)

B= Peso neto de partículas fracturadas (gr.)

$$C = \% \text{ de caras fracturadas} = \frac{B}{A} * 100$$

D= % de agregados con respecto a la granulometría original

$$E = \% \text{ de caras fracturadas corregido} = \frac{(C * D)}{100}$$

$$\% \text{ Caras Fracturadas} = \frac{\sum E}{\sum D} * 100 = \frac{65.8}{80.0} * 100 = 82.2$$

### 3.3.1.2. Partículas planas y/o alargadas

Se define como partícula plana cuando la dimensión mínima (espesor) es inferior a 3/5 de la dimensión media de la fracción y partícula alargada cuando la dimensión máxima (longitud) es superior a 9/5 de la dimensión media de la fracción. Se debe tomar en cuenta que el método es aplicable para agregados mayores a 1/4" (Ver tabla IV).

**Tabla IV. Dimensiones del calibrador**

TAMICES				Dimensiones del Calibrador (mm)	
PASA		RETIENE		Planas (Abertura de la ranura) <sup>1</sup>	Alargadas (Separación de las barras) <sup>2</sup>
mm.	Pulg.	mm.	Pulg.		
63	2 1/2"	50	2"	33.9	---
50	2"	37.5	1 1/2"	26.3	78.8
37.5	1 1/2"	25	1"	18.8	56.3
25	1"	19	3/4"	13.2	39.6
19	3/4"	12.5	1/2"	9.5	28.4
12.5	1/2"	9.5	3/8"	6.6	19.8
9.5	3/8"	6.3	1/4"	4.7	14.2

FUENTE: Normas I.N.V

1. Esta dimensión es igual a 0.6 veces el promedio de las aberturas de los tamices que definen la fracción.
2. Esta dimensión es igual a 1.8 veces el promedio de las aberturas de los tamices que definen la fracción.

### **Procedimiento:**

- Se realiza muestreo de los materiales apilados en la planta de trituración.
- Se realiza cuarteo de la muestra.
- Realizar granulometría de la muestra cuarteada.
- Separar material según tamices (Ver tabla IV).
- De cada fracción del agregado cuyo porcentaje en la muestra esté comprendido entre el 5% y el 15%, se tomará un mínimo de 100 partículas, determinando su peso.
- De cada fracción del agregado cuyo porcentaje en la muestra sea superior al 15%, se tomará un mínimo de 200 partículas, determinando su peso.

Nota: las fracciones del agregado cuyo porcentaje sea inferior al 5% de la muestra no se ensayan.

- Se separan las partículas que pasan el calibrador de aplanamiento por la abertura correspondiente a la fracción que se ensaya, la cantidad total de partículas se pesa.
- Se separan las partículas que pasan el calibrador de alargamiento por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya, la cantidad total de partículas se pesa.

### Cálculos:

- Índice de aplanamiento =  $\frac{a}{c} * 100$
- Índice de alargamiento =  $\frac{b}{c} * 100$

a = peso total de partículas que pasa el calibrador de aplanamiento

b = peso total de partículas que pasa el calibrador de alargamiento

c = peso de las 100 ó 200 partículas, según sea el caso.

### 3.3.1.3. Abrasión (máquina de los Ángeles)

El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, por medio mecánico, empleando la citada máquina con una carga abrasiva. La pérdida de velocidad y el deslizamiento del mecanismo de transmisión son causa frecuente que los resultados del ensayo no sean satisfactorios. La carga abrasiva (ver tabla V), consistirá en esferas de acero de diámetro entre 46.38 y 47.63 milímetros y un peso comprendido entre 390 y 445 gramos, ésta dependerá de la granulometría de ensayo (Ver tabla V).

**Tabla V. Tipos de granulometría para ensayo de abrasión**

Granulometría de Ensayo	Número de Esferas	Peso Total (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

FUENTE: Normas I.N.V

**Procedimiento:**

- Se realiza muestreo de los materiales apilados en la planta de trituración.
- La muestra será separada por fracciones de cada tamaño, dependiendo de las granulometrías indicadas (Ver tabla VI) y éstas serán representativas del agregado tal y como va a ser utilizado en la obra.

**Tabla VI. Pesos de granulometría para ensayo de abrasión**

% PASA		% RETIENE		PESOS (gr.) Y GRANULOMETRÍAS			
mm.	Pulg.	mm.	pulg.	A	B	C	D
37.5	1½"	25	1"	1250 ± 25			
25	1"	19	¾"	1250 ± 25			
19	¾"	12.5	½"	1250 ± 10	2500 ± 10		
12.5	½"	9.5	⅜"	1250 ± 10	2500 ± 10		
9.5	⅜"	6.3	¼"			2500 ± 10	
6.3	¼"	4.75	No.4			2500 ± 10	
4.75	No.4	2.36	No.8				5000 ± 10
TOTALES				5000 ± 10	5000± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

FUENTE: Normas I.N.V

**Nota:** Cuando se triture la muestra en el laboratorio, deberá ser notificado en el informe, debido a la influencia que tiene la forma de las partículas en el resultado del ensayo.

- La muestra y la carga abrasiva correspondiente (ver tabla V), se colocan en la máquina de los Ángeles, se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 revoluciones por minuto, hasta alcanzar un total de 500 revoluciones.
- Al terminar el número de vueltas, se extrae la carga abrasiva (esferas de acero) y se descarga el material ensayado en una bandeja.
- El material ensayado se tamiza empleando el tamiz No. 12, el material retenido se lava y se seca en horno, a una temperatura comprendida entre 105 y 110 °C, hasta alcanzar un peso constante.

**Nota:** el no lavar el material después del ensayo influirá en no mas de 0.2% del porcentaje.

**Cálculos:**

- El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado como tanto por ciento del peso original.

$$\% \text{ Desgaste} = \left( \frac{P_1 - P_2}{P_1} \right) * 100$$

P<sub>1</sub> = Peso de la muestra seca antes del ensayo.

P<sub>2</sub> = Peso de la muestra seca después del ensayo.

**Ejemplo: Abrasión Tipo A**

Tamiz	Peso Inicial	Peso Final
1 1/2" a 1"	1250	1100
1" a 3/4"	1250	1000
3/4" a 1/2"	1250	1150
1/2" a 3/8"	1250	1180
<b>Total</b>	5000	4430

$$\% \text{ Desgaste} = \left( \frac{5000 - 4430}{5000} \right) * 100 = 11.4$$

### 3.3.1.4. Desintegración al sulfato de sodio

Por medio de éste método se puede obtener información útil para juzgar la calidad y/o el comportamiento de los agregados que han de estar sometidos a la acción de agentes químicos.

Una prueba de evaluación consiste en someter el agregado en sulfato de sodio, a una serie de cinco ciclos de 16 ó 18 horas cada uno.

El volumen de la solución (sulfato de sodio) será, por lo menos, cinco veces el volumen de la muestra sumergida (Ver tabla VII), de manera que el nivel de la solución quede por lo menos 1.3 centímetros por encima de la muestra. El recipiente donde se coloque la muestra, se cubre para evitar la evaporación y la contaminación con sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución, se mantienen a una temperatura de  $21 \pm 1$  °C, durante todo el tiempo de inmersión (5 ciclos de 16 a 18 horas por ciclo).

**Tabla VII. Pesos para ensayo de desintegración al sulfato de sodio**

TAMICES	% Peso	Peso (gr.)
Tipo de material:		
No.4 a 3/8"	100%	300 ± 5
Tipo de material:		
3/8" a 1/2"	33%	330 ± 5
1/2" a 3/4"	67%	670 ± 10
Tipo de material:		
3/4" a 1/2"	33%	500 ± 30
1" a 1 1/2"	67%	1000 ± 50

FUENTE: Normas I.N.V

Nota: se rechazarán para cuestiones de cálculo las fracciones que contengan menos del 5% de la granulometría original.

**Procedimiento:**

- De los materiales apilados en la planta de trituración se toman las muestras a ensayar.
- Las muestras serán separadas por fracciones de cada tamaño, dependiendo de las granulometrías y éstas serán representativas del agregado tal y como va a ser utilizado en la obra (ver tabla VII).
- Las muestras se sumergen en la solución de trabajo (sulfato de sodio), durante un período de inmersión no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas. Para agregados livianos es conveniente tapar los recipientes que contienen las muestras, con rejillas pesadas de alambre, para evitar pérdidas de la muestra.
- Luego del período de inmersión, la muestra se extrae de la solución (sulfato de sodio) se lava y se deja escurrir durante 15 minutos, luego se introduce en el horno a 110 °C hasta alcanzar un peso constante. El período de inmersión y secado de las muestras se prosigue, hasta completar los 5 ciclos.
- Al terminar los 5 ciclos, se lava la muestra hasta que quede exenta de la solución (sulfato de sodio), evitando someter las partículas a impactos y frotamientos que puedan facilitar su fracturamiento o desgaste.
- Las muestras se introducen en el horno a la temperatura de 110 °C y se pesan hasta alcanzar un peso constante.
- Se tamizan sobre los mismos tamices en que fue retenido el material y utilizando la corrección por granulometría, se procede a hacer el cálculo.

**Cálculos:**

- El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado como tanto por ciento del peso original.

$$\% \text{ Desintegración} = \left( \frac{P_1 - P_2}{P_1} \right) * 100$$

$P_1$  = Peso muestra seca antes del ensayo.

$P_2$  = Peso muestra seca después del ensayo.

**3.3.1.5. Equivalente de arena**

Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido del polvo, en los materiales finos. También permite determinar rápidamente, en el campo, variaciones de calidad de los materiales que se estén produciendo o utilizando.

**Procedimiento:**

- Tomar una muestra de material que sea representativa.
- Separar la muestra por medio del tamiz No. 4.
- Antes de seleccionar la muestra a ensayar se debe desmenuzar todos los terrones de material fino y remover el material fino que se encuentra adherido al material grueso.
- Proceder a cuartear el material.

Nota: antes de cuartear la muestra, se humedece para evitar segregación ó pérdida de finos en el proceso de cuarteo.

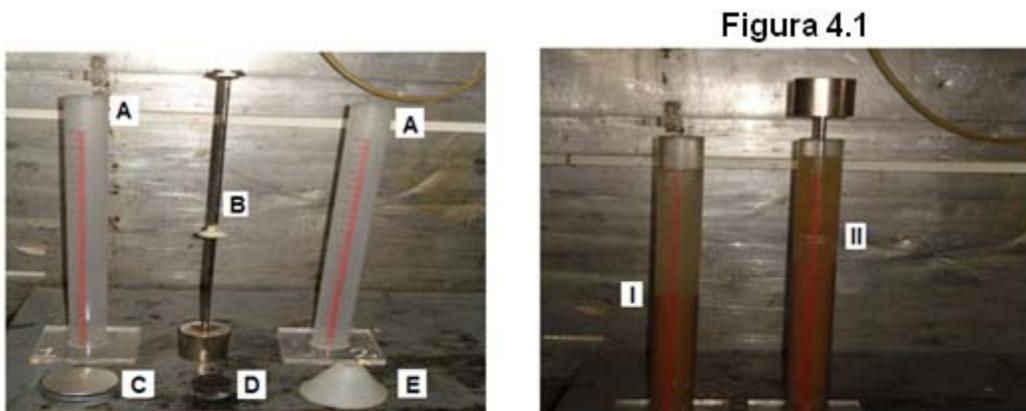
- Secar la muestra cuarteada a una temperatura de  $105 \pm 5$  °C y enfríese a temperatura ambiente antes de empezar el ensayo.
- Viértase solución de trabajo (cloruro de calcio) en el cilindro graduado (Ver figura 4), hasta una altura de  $101.6 \pm 2.54$  milímetros ó  $4 \pm 0.1$  pulgadas.

**Nota:** la solución de trabajo deberá tener una temperatura de  $22 \pm 3$  °C.

- Con ayuda del embudo (Ver figura 4), viértase la muestra de ensayo en el cilindro graduado, proporcionar varias palmadas al fondo del cilindro, para liberar las burbujas de aire. Dejar la muestra en reposo remojada durante  $10 \pm 1$  minuto.
- Después de este período, tapar el cilindro y soltar el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo a la vez.
- Agítese el material por medio de cualquier método:  
Método del agitador = 100 ciclos, en aproximadamente 45 segundos.  
Método manual = 90 ciclos, en aproximadamente 30 segundos.
- Inmediatamente después de la operación de agitación, colóquese el cilindro de forma vertical y remueva el tapón (Ver figura 4).
- Vierta la solución de trabajo, con el tubo irrigador, de manera que empiece por la limpieza de las paredes del cilindro hasta llegar al fondo y aplicando suavemente una acción de presión y giro mientras la presión de la solución impulsa el material fino hacia arriba, dejándolo en suspensión sobre las partículas gruesas de arena.
- Continúe el procedimiento anterior hasta llegar la solución a una altura de 15 pulgadas. Luego deje en reposo por 20 minutos.

- Al finalizar los 20 minutos del período de sedimentación, leer y anotar el nivel de la parte superior de la suspensión arcillosa. Este valor se denomina “lectura de arcilla” (Ver figura 4.1).
- Nota:** si al finalizar los 20 minutos de sedimentación, no se observa una línea clara de lectura, esperar hasta poder establecer la lectura, si éste período sobrepasa los 30 minutos, efectuar de nuevo la prueba con tres muestras y tomar la lectura de la muestra que menor tiempo requiera para poder obtener la lectura.
- Después de tomar la lectura de arcilla, introduzca dentro del cilindro el conjunto del disco, la varilla y el sobrepeso (Ver figura 4) y baje suavemente hasta llegar sobre la arena, sin ejercer presión, leer y anotar este valor. A este valor se le denomina “lectura de arena” (Ver figura 4.1).

**Figura 4. Equipo para realizar ensayo de equivalente de arena**



- |   |                  |                              |
|---|------------------|------------------------------|
| <b>A:</b> Cilindro                                | <b>D:</b> Tapón  | <b>I:</b> Lectura de arcilla |
| <b>C:</b> Medidor                                 | <b>E:</b> Embudo | <b>II:</b> Lectura de arena  |
| <b>B:</b> Conjunto de disco, varilla y sobrepeso. |                  |                              |

**Cálculos:** el equivalente de arena se calculará con aproximación a una décima (0.1%), así:

$$\% \text{ Equivalente de arena (EA)} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100$$

### 3.3.1.6. Plasticidad

#### Límite líquido

El límite líquido de un material es el contenido de humedad expresado en porcentaje, que nos indica el límite entre el estado líquido y el estado plástico.

#### Procedimiento:

- Tomar una muestra de aproximadamente 100 gramos que pase el tamiz No. 40.
- Coloque la muestra de material que pase tamiz No.40 en una vasija y mézclese completamente con agua destilada, agitándola, amasándola y trabajándola con una espátula en forma alternada y repetida, hasta obtener una pasta suave y espesa.

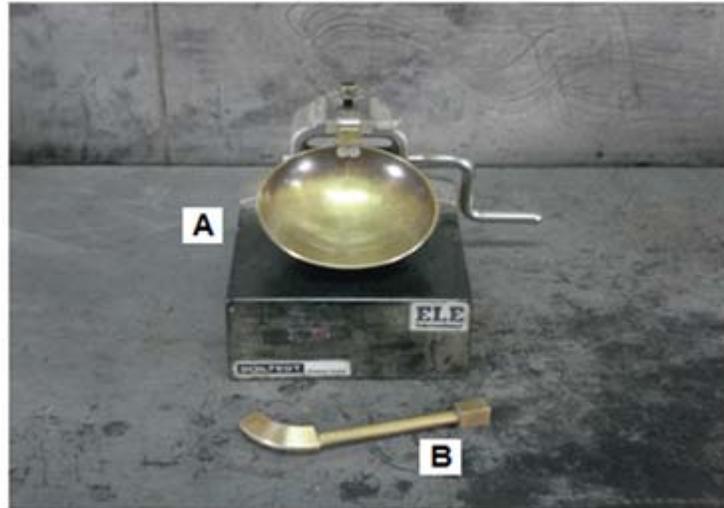
**Nota:** Mézclese completamente cada adición de agua con el material, antes de volver a incrementar el agua, debido a que algunos materiales son lentos para absorber agua, por lo cual es posible que se adicione los incrementos de agua tan rápidamente que se obtenga un límite líquido falso.

- Colocar una porción de la mezcla en la copa Casagrande (Ver figura 3.3) de aproximadamente (50 a 80 gr.) y comprimir hacia abajo, extendiendo el material hasta obtener una profundidad de 1 centímetro y una superficie horizontal, con tan pocas pasadas como sea posible, para evitar la inclusión de burbujas de aire dentro de la masa.

- Se coloca el ranurador (Ver figura 5), encima de la pasta, de manera que quede perpendicular a la superficie, se divide el material en la copa de bronce por pasadas firmes del ranurador, con un máximo de 6 pasadas,
- Elévese y golpéese la cazuela, dándole vuelta a la manija, a razón de 2 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de material se pongan en contacto en el fondo de la ranura, a una distancia de 1 cm. Anótese el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.
- Tomar una muestra de material (20 a 30 gr.), aproximadamente del ancho de la espátula y en el lugar donde se cerró la porción y colóquese en un recipiente adecuado.
- Determinar porcentaje de humedad de la muestra retirada de la cazuela.
- La operación anterior se hace por lo menos tres veces, con el objeto de tener tres distintos números de golpes necesarios para cerrar la porción, estos números deberán estar comprendidos en intervalos que difieren de cada operador y autor.

Nota: el mínimo de puntos es tres, uno entre 5 y 15 golpes, otro comprendido entre 15 y 30 golpes y el último entre 30 y 40 golpes. Lo más conveniente, es obtener primero, los puntos correspondientes a un número cercano a 35 y después agregar agua para obtener una consistencia a un número menor de golpes. Se recomienda no tratar de forzar los 25 golpes.

**Figura 5. Equipo para realizar ensayo de límite líquido**



**A: Copa    B: Ranurador**

**Cálculos:**

Calcular el contenido de humedad en tanto por ciento:

$$\% \text{ de humedad} = \left( \frac{P_2 - P_1}{P_1} \right) * 100$$

$P_1$  = Peso de la muestra seca

$P_2$  = Peso de la muestra húmeda

Luego de obtener los distintos contenidos de humedad para cada número de golpes se prosigue a trazar la curva de fluidez, relacionando el número de golpes (ordenada), con sus humedades respectivas (abscisas) en un papel semilogarítmico.

Se unen los puntos entre 5 y 15 golpes con los puntos entre 30 y 40 golpes por medio de una línea recta, si todos los puntos, no corresponden en una misma línea, ésta se dibuja buscando la tendencia.

El contenido de humedad que corresponde, en esta línea, a 25 golpes, se define como Límite Líquido. Si no es posible hacer ésta determinación, se dice que el material es No Líquido (N.L).

### **Límite plástico**

Es el contenido de agua que limita el estado plástico del estado resistente semi-sólido de un suelo. También se define como, la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelo de unos 3 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, hasta agrietarse, pero sin que dichos cilindros se desmoronen.

### **Procedimiento:**

- Se toman aproximadamente 20 gramos que pase el tamiz No. 40, se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla con la masa de material.
- Se moldea la muestra de forma de elipsoide y se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, que puede ser secante, hasta formar cilindros de 3 milímetros de diámetro y de 6 a 10 centímetros de largo.
- La porción que alcance el requisito anterior debe de ser al menos 5 gramos, para poder determinarle la humedad, si no alcanza el requisito anterior se dice que el material es no plástico (N.P).

### **Cálculos:**

El límite plástico es la humedad expresada en porcentaje de la porción que contiene los cilindros.

$$\text{Límite plástico} = \% \text{ de humedad} = \left( \frac{P_2 - P_1}{P_1} \right) * 100$$

$P_1$  = Peso de la muestra seca

$P_2$  = Peso de la muestra húmeda

### **Índice de plasticidad**

El más importante y usado, se puede definir como la diferencia numérica entre el límite líquido y límite plástico de un suelo.

$$\text{Índice de Plasticidad} = \text{L.L} - \text{L.P}$$

### **3.3.1.7. Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua (ASTM D 1664 & AASHTO T 182)**

El presente ensayo nos sirve para valorar, en forma empírica, el efecto de la acción del agua sobre la película asfáltica que recubre un agregado, intenta poner de manifiesto la afinidad recíproca entre ambos materiales. El procedimiento se ejecutará fundamentalmente con los agregados y asfaltos que se van a utilizar en la obra.

El ensayo se puede aplicar a todos los tipos de asfaltos que se emplean en la construcción de carreteras.

Requisitos del Agregado:

- Material que pasa 100% Tamiz 3/8" y Retiene 1/4".
- Se debe lavar el material, para eliminar el material fino adherido, se secan a temperatura entre 135 y 149 °C, hasta alcanzar peso constante.

## PROCEDIMIENTO

- Se muestrea el material apilado en la trituradora de agregados.
- Separar material a ensayar, comprendido entre el tamiz 3/8" y 1/4".
- Se pesan  $100 \pm 0.1$ g de agregado seco a temperatura ambiente  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Se añade al material a ensayar,  $5.5 \pm 0.2$  g de asfalto, a temperatura de mezcla recomendada de acuerdo con la curva reológica del asfalto (ver anexo 2).
- Se mezcla el material asfáltico con los agregados, hasta lograr que la mezcla sea homogénea, se deja enfriar hasta llegar a temperatura ambiente  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**NOTA:** se recomienda calentar el agregado, previo a la mezcla.

- Se pasa el agregado cubierto a un vaso de vidrio y se cubre inmediatamente con agua destilada a temperatura ambiente ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y se deja en reposo durante un período comprendido entre 16 a 18 horas.
- Luego de terminado este período, sin perturbar o agitar el agregado cubierto, se retira cuidadosamente cualquier película que flote en la superficie del agua. Se ilumina la mezcla con una lámpara.

Por observación a través del agua, desde arriba, se estimará el porcentaje del área total del agregado visible que permanezca cubierta (Ver figura 6).

Nota: Se consideran totalmente cubiertas las zonas que, aún teniendo un color más claro, conserven material bituminoso recubriéndolo.

## RESULTADOS

El porcentaje de área cubierta estimada se expresará como "Superior al 95 por ciento" o "Inferior al 95 por ciento".

**Nota:** Este ensayo debe ser considerado como un ensayo subjetivo de tipo apreciativo de "apto - no apto", en relación con este nivel del 95 por ciento, ya que la precisión a niveles más bajos no es satisfactoria. Esta es una limitación del método, y no puede asegurarse que una mezcla de agregados y asfalto con una superficie cubierta estimada debajo del 95% no presente un buen comportamiento en la obra.

**Figura 6. Apreciación visual del ensayo de desvestimiento**



### 3.3.1.8. Porcentaje de asfalto

El contenido de asfalto mínimo a utilizar en este tipo de mezcla es 4.5% según la metodología utilizada (Cántabro). Para encontrar el porcentaje óptimo de asfalto se realiza la mezcla de los agregados con distintos porcentajes de asfalto, empezando de 4.0%, incrementando este valor en 0.5 %, hasta llegar a un porcentaje, donde se considere que haya escurrimiento del bitumen, pero no mayor a 8% (Ver figura 7),

luego se hacen briquetas de acuerdo a la metodología Cántabro, se ensayan y se determina su permeabilidad, que tiene que ser menor a 15 segundos y porcentaje de vacíos de aire mayor a 20%, por medio de la densidad relativa volumétrica de la briqueta y la gravedad específica teórica máxima (RICE), también se determina la cohesión de la mezcla por medio de la máquina de Los Ángeles, éstos son los parámetros principales para encontrar el porcentaje óptimo de asfalto.

Los porcentajes de asfalto, comprendidos entre 4% y 8% se grafican con los resultados del ensayo de permeabilidad, porcentaje de vacíos de aire, densidad y el porcentaje de desgaste, con la interpretación de estas gráficas podemos definir cual es el porcentaje óptimo para la mezcla, el cual nos garantice una permeabilidad aceptable y la mejor cohesión en la mezcla (ver Cap. 6, Interpretación de Resultados).

**Figura 7. Peso de asfalto según porcentaje en la mezcla**



El contenido mínimo de asfalto modificado con polímeros a utilizar en la mezcla, dependerá si contiene o no fibras. (Ver tabla VIII)

**Tabla VIII. Contenido mínimo de asfalto modificado**

TIPO	Total porciento en masa sobre mezcla	TOLERANCIA
Contenido mínimo de asfalto sin emplear fibras	4.5	± 0.3
Contenido mínimo de fibras a utilizar	0.5	± 0.3
Contenido mínimo de asfalto empleando fibras	5.5	± 0.3

FUENTE: CAD 12

### 3.3.1.9. Granulometría (AASHTO T 30 & NLT 165)

Para el análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos, se realiza empleando muestras recuperadas ó con material apilado en la planta de trituración, se utilizan tamices con malla de abertura cuadrada. Para empezar el diseño de la mezcla asfáltica drenante, se separa suficiente material con los distintos tamices comprendidos en el diseño, con las muestras separadas se toma el porcentaje de cada material según la curva seleccionada y se realiza la mezcla con el asfalto modificado, para realizar las briquetas. También se realiza el análisis granulométrico de forma integrado, esto se realiza con material recuperado, ya sea de un pavimento ó de una briketa realizada en laboratorio, luego de ser extraído su contenido de asfalto.

#### PROCEDIMIENTO:

- La muestra se seca a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, hasta alcanzar un peso constante, anotándose este valor.

- Luego dejar enfriar por un instante la mezcla, para evitar dañar los tamices finos.
- A continuación se tamiza sobre una serie de tamices escogidos de acuerdo con las especificaciones (Ver figura 8).

**Figura 8. Tamices especificados para la mezcla drenante**



### **CÁLCULOS:**

Las cantidades de las distintas fracciones retenidas en cada tamiz, se convierten en los respectivos porcentajes dividiéndoles por peso total de agregados.

NOTA: cuando la muestra sea recuperada, la cantidad total de la muestra, será la suma del material adherido al filtro con el material de la extracción.

$$\% \text{Retenido} = \left( \frac{A}{B} \right) * 100$$

$$\% \text{Pasa} = \left( \frac{B - A}{B} \right) * 100$$

**A=** Peso de material retenido en el tamiz

**B=** Peso total de la muestra

**3.3.1.10. Gravedad específica teórica máxima (ASTM D-2041 & AASHTO T-209)**

También llamada gravedad específica Rice, debido a su autor James Rice. Este método determina la Gravedad Específica de una mezcla asfáltica en caliente, en su estado suelto.

Por definición el peso específico es la relación del peso de un volumen dado de material a 25°C con respecto de un volumen igual de agua, a la misma temperatura.

Se debe tomar en cuenta el tamaño de la muestra a utilizar para el ensayo, dependiendo del tamaño máximo del agregado (Ver tabla IX).

**Tabla IX. Pesos para ensayo RICE**

Tamaño Máximo de Agregado (mm,plg)		Tamaño Mínimo de la Muestra (gr)
50	(2")	6000
37.7	(1½")	4000
25.4	(1")	2500
19.1	(¾")	2000
12.5	(½")	1500
9.5	(⅜")	1000
4.75	(No.4)	500

FUENTE: Normas I.N.V

## PROCEDIMIENTO:

- Se toma la muestra, ya sea del carro transportador de la mezcla al silo ó del camión, teniendo en cuenta, que la muestra sea representativa.
- Separar las partículas de la muestra teniendo cuidado de no fracturar las partículas minerales, de tal manera que la adherencia de las partículas de la porción fina, no sean mayores de (1/4”).
- Enfríese la muestra hasta la temperatura ambiente 25°C, colóquese en un recipiente y pésese ( $P_1$ ).
- Introduzca la muestra al matraz y agregue agua hasta cubrir la muestra.
- Remuévase el aire atrapado sometiendo la mezcla a un vacío de 30 mm de Hg (4 kPa) de presión absoluta, durante un período de 5 a 15 minutos, el tiempo de aplicación varía dependiendo si la mezcla es pobre o rica en asfalto, normalmente se utiliza 15 minutos, en el transcurso de este período agítase el recipiente con la mezcla, ya sea continuamente mediante un dispositivo mecánico o manualmente mediante agitación vigorosa (Ver figura 9).
- Inmediatamente después de la remoción del aire atrapado procédase a medir el peso en agua ( $P_2$ ), éste se mide con el contenido de agua, hasta la marca de aforo del picnómetro, el agua que se incrementa deberá estar libre de aire.

Nota: previo al ensayo se llena el matraz con agua destilada hasta la marca de aforo, anotar este peso ( $P_0$ ).

**Figura 9. Bomba de vacíos para realizar el ensayo RICE**



**CÁLCULOS:**

$$\text{Peso Específico Teórico Máximo, (gr/cm}^3\text{)} = \left( \frac{(P_1)}{P_1 + P_o - P_2} \right)$$

**3.3.2 Ensayos a la mezcla**

**3.3.2.1. Densidad relativa (volumétrica)**

Para la determinación de la densidad se realiza el procedimiento por medida geométrica del volumen aparente. Este cálculo se realiza con las pastillas ensayadas de acuerdo al Método Marshall, con energía de compactación por medio de 50 golpes.

**Procedimiento:**

- Se realizan las pastillas de acuerdo a la metodología Marshall.
- Luego de mantener la pastilla al aire durante un mínimo de una hora a temperatura ambiente, se pesa para obtener su masa. (A)
- Con el pie de rey o calibrador se efectúan cuatro medidas de altura (Ver figura 10) de dos diámetros perpendiculares y se promedian los valores obtenidos (h).
- El diámetro de la pastilla, será valor del diámetro nominal del molde en que se fabricó la probeta. (d)

**Figura 10. Medición de briqueta por medio del calibrador**



**Cálculos:**

$$\text{Densidad Relativa Aparente, (gr/cm}^3\text{)} = D_{RA} = \left( \frac{(A)}{\frac{\pi}{4} * d^2 * h} \right)$$

### 3.3.2.2. Permeabilidad

Esta prueba se realiza para asegurar que los vacíos de aire están debidamente interconectados, con esto obtenemos la capacidad de drenaje de la pastilla.

#### Procedimiento:

- El análisis se puede hacer con una pastilla recién compactada y sin extraerla del molde.
- Se humedece la pastilla.
- Se toman 100 ml de agua y se derrama sobre la pastilla (Ver figura 11)

**Figura 11. Ensayo de permeabilidad sobre la briqueta**



#### Cálculo:

El tiempo en segundos que tarda el agua en atravesar la pastilla, es el dato a tomar en el análisis.

### 3.3.2.3. Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste. (NTL-352)

Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del valor de la pérdida por desgaste de las mezclas bituminosas, empleando la máquina de Los Ángeles (Ver figura 12). El procedimiento se aplica a las mezclas bituminosas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm. El ensayo permite valorar indirectamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

**Figura 12. Máquina de los Ángeles**



#### **Procedimiento:**

- Se prepara un mínimo de cuatro probetas para cada contenido ensayado de asfalto. Los agregados se secan a una temperatura de 110 °C hasta alcanzar un peso constante. La temperatura de asfalto en la

mezcla y compactación de las probetas, tienen que ser adecuadas para lograr una buena envuelta sin que se produzca escurrimiento, esta temperatura tiene que ser la adecuada para que el asfalto tenga una viscosidad de  $170 \pm 20$  cSt (para mezcla) y  $280 \pm 30$  cSt (para compactación), esto dependerá de la curva reológica del asfalto (ver anexo 2). La preparación de la mezcla de los agregados con el asfalto para una probeta tiene que tener un peso de 1000 gramos aproximadamente. La energía de compactación será de 50 golpes por cara, empleando el equipo y procedimiento de compactación descritos en el procedimiento Marshall (Ver figura 13). La densidad y el porcentaje de vacíos se determina a partir de la medida geométrica de su volumen y densidad relativa.

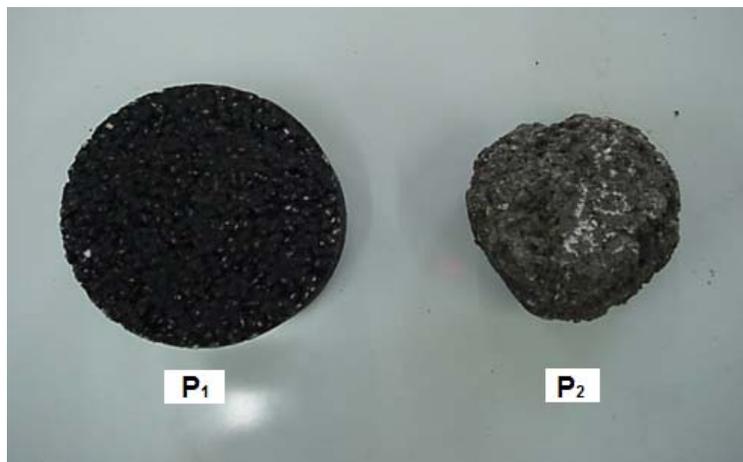
**Figura 13. Compactación de briqueta**



- Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0.1 gr. anotar este valor,  $P_1$  (Ver figura 14). Luego se dejan a temperatura ambiente un mínimo de 6 horas.

- Se introduce a continuación una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles (sin carga abrasiva), se hace girar el tambor a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto, durante 300 vueltas.
- Al final del ensayo, se saca la probeta y se pesa de nuevo con la misma aproximación 0.1 gr. anotar este valor, P<sub>2</sub> (Ver figura 14).

**Figura 14. Comparación de briquetas**



**Cálculo:**

Se calcula la pérdida por desgaste de cada probeta ensayada.

$$\text{Pérdida por Desgaste} = P = \left( \frac{P_1 - P_2}{P_1} \right) * 100$$

P = valor de la pérdida por desgaste, en %

P<sub>1</sub> = masa inicial de la probeta, en gramos

P<sub>2</sub> = masa final de la probeta, en gramos

**3.3.2.4. Efecto del Agua sobre la Cohesión de Mezclas Bituminosas de Granulometría Abierta, Mediante el Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste (NLT-362)**

Esta norma describe el procedimiento de ensayo que debe seguirse para determinar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua sobre las mezclas bituminosas compactadas de granulometría abierta. El procedimiento se aplica a mezclas bituminosas abiertas fabricadas en frío o caliente, con asfaltos modificados o sin modificar y tamaño máximo del agregado de 25mm.

Con el método se obtiene un índice del aumento de pérdida de masa, como consecuencia de comparar los resultados de un grupo de muestras sometidas a la acción del agua con otras mantenidas al aire.

**Procedimiento:**

- La mezcla de los agregados con el asfalto se tiene que hacer a una temperatura de 165 °C, para obtener una buena envuelta del agregado sin que se produzca escurrimiento (Ver figura 15) y se respete la viscosidad del asfalto según la curva reológica (ver anexo 2).

**Figura 15. Mezcla de Asfalto con Agregados**



- La compactación de las probetas se realiza empleando los elementos y procedimientos de compactación del ensayo Marshall (Ver figura 13). La energía de compactación se obtendrá por medio de 50 golpes por cara.
- Una vez compactada la mezcla, se espera un tiempo mínimo de dos horas antes de extraerla del molde (Figura 16).

**Figura 16. Briqueta Compactada**



- Se determina la masa de cada probeta de los dos grupos y se anota. ( $P_1$ ).
- Las series de probetas se dividen en dos grupos iguales, de preferencia que tengan densidades similares
- Grupo 1: se coloca en un horno regulado a 25 °C durante un período de 24 horas (Ver figura 17).

**Figura 17. Horno con temperatura regulada**



- Grupo 2: se coloca en un baño de agua regulado a 60 °C durante 24 horas (Ver figura 18), luego se sacan del baño y se colocan en un horno regulado a 25 °C (Ver figura 17) durante 24 horas. Nota: al terminar este proceso se determina si la muestra tiene contenido de agua, ( $P_o$ ).

**Figura 18. Baño de agua María**



- Después de las acciones y períodos de tiempo que se prescriben, se procede a determinar la pérdida por desgaste por medio del ensayo cántabro de acuerdo a la norma NLT 352.
- El número de vueltas del tambor de la máquina de Los Ángeles será de 300 revoluciones.
- Al terminar las revoluciones se determina la masa de cada probeta. (P2) Nota: a este peso se resta el contenido de agua (Po).

**Cálculos:**

$$\text{Porcentaje de Pérdida} = P = \left( \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \right) * 100$$

P = valor de la pérdida por desgaste, en %

P<sub>1</sub> = masa inicial de la probeta, gr.

P<sub>2</sub> = masa final de la probeta, gr.

El cálculo anterior se realiza para, Condición Húmeda y Condición Seca

$$\text{Índice de aumento de pérdida} = IAP = \left( \frac{(P_{CH})}{(P_{CS})} \right) * 100$$

P<sub>CH</sub> = pérdida de ensayo cántabro, grupo de probetas sumergidas.

P<sub>CS</sub> = pérdida de ensayo cántabro, grupo de probetas no sumergidas.

## 4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

### 4.1 Control de calidad

#### 4.1.1. Preparación de superficie existente

La mezcla drenante debe colocarse sobre una superficie sin defectos, impermeable y con una sección transversal que pueda permitir la evacuación del agua. Para colocar una mezcla drenante sobre superficies fresadas y dobles tratamientos, se debe tener una superficie nivelada y que sea impermeable, para evitar la incorporación de agua a las capas subyacentes del pavimento, provocando daños a la estructura del pavimento. La aplicación de riego de liga, deberá también ser con asfalto modificado (Ver figura 19).

**Figura 19. Aplicación de riego de liga**



#### **4.1.2. Transporte de la mezcla**

Durante el transporte de la mezcla deberán tomarse las precauciones necesarias, más que todo, para controlar la temperatura de la mezcla, que esté entre los límites requeridos, de acuerdo a la curva reológica del asfalto (ver anexo 2), que define la temperatura de compactación de dicha mezcla (Ver figura 20).

**Figura 20. Transporte adecuado de mezcla drenante**



#### **4.1.3. Extensión de la mezcla**

La mezcla se extenderá con maquinas pavimentadoras, de tal modo que se cumplan los lineamientos, anchos y espesores señalados en los planos y con la mayor continuidad posible, para estar dentro del rango permitido de temperaturas de compactación (Ver figura 21).

**Figura 21. Extensión de mezcla drenante**



#### **4.1.4. Compactación de la mezcla**

Se deberán utilizar compactadores de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios. Todos los compactadores deberán ser autopropulsados y estar dotados de inversores de marcha suaves. Deberán compactar la mezcla lo más rápido posible, para evitar la pérdida de temperatura (Ver figura 22).

La compactación se realizara longitudinalmente de manera continua y sistemática. Se recomienda que en tangentes se empiece la compactación en los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro y en curvas empezar en el borde inferior al superior.

**Figura 22. Compactación de mezcla drenante**



#### **4.1.5. Juntas de trabajo**

Las juntas de trabajo deberán permitir siempre el libre flujo de agua a través de la capa compactada. La aplicación de riego de liga en la superficie de contacto entre las juntas, formará una barrera al agua que provocará dificultad a la hora del drenaje. Las juntas transversales en la capa de rodadura 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 (Ver figura 23).

**Figura 23. Juntas de Trabajo**



#### **4.1.6. Apertura al tránsito**

Alcanzado el nivel de compactación exigido, el tramo pavimentado podrá abrirse al tránsito tan pronto la capa alcance la temperatura ambiente ( 25°C), en todo su espesor (Ver figura 24).

**Figura 24. Apertura rápida al Tránsito**



## **4.2 Aseguramiento de calidad**

### **4.2.1. Generalidades**

El aseguramiento de calidad, es realizado por parte del supervisor, su función será, verificar que los requisitos de los materiales a utilizar en la mezcla cumplan con lo establecido en las Especificaciones del Proyecto, sin olvidar la importancia de la normativa de cada ensayo que se realice al material o en sí a la mezcla, como también tener el control de los procedimientos constructivos desde el transporte de la mezcla, hasta la colocación y compactación de la misma.

### **4.2.2. Control de la mezcla**

A la salida del mezclador o silo de almacenamiento, sobre cada vehículo de transporte, se debe controlar la temperatura de mezclado, ya que si ésta sobrepasa el límite superior indicado en la curva reológica (ver anexo 2), se produce la quema del polímero y en el caso contrario, no se podrá efectuar una correcta compactación.

Cuantitativamente, se deben seguir los siguientes controles en laboratorio de la mezcla:

- 4.2.2.1. Contenido de asfalto:** Se trabajaran tres muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un día de producción. El contenido deberá estar comprendido entre los límites establecidos en el diseño, caso contrario se rechazará la producción afectada.
- 4.2.2.2. Granulometría de los agregados:** La curva granulométrica deberá ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada, ajustándose al diseño con las tolerancias que se

indican a continuación, pero sin permitir que la curva se salga de los límites de la franja:

- % Pasa tamiz 3/8" y mayores ----- ± 4%
- % Pasa tamiz No.4, No. 10 y No.40 ----- ± 3%
- % Pasa tamiz No.200 ----- ± 1%

### **4.2.3. Calidad de la mezcla:**

#### **4.2.3.1. Resistencia**

Se deben elaborar probetas, de tal forma que se pueda determinar la pérdida por abrasión en seco y en húmedo, por medio del ensayo Cántabro.

Los valores promedio de pérdida de ambos grupos, no deberá ser:

- Mayor a 25%-----Condición seca
- Mayor a 40%-----Condición húmeda

Ninguna de las probetas podrá presentar un desgaste mayor en 20% del máximo admisible, 25% ó 40% según sea la condición para cada grupo. Se recomienda el uso de aditivos mejoradores de adherencia, si lo anterior no cumple con los requisitos.

#### **4.2.3.2. Vacíos con aire**

Sobre las probetas que van a ser utilizadas para la determinación de la resistencia, se determinarán previamente los vacíos con aire de la mezcla compactada, que deberá estar comprendida entre:

- [20 a 25] ó  $20 \leq \%H \leq 25$

El valor promedio de los vacíos con aire de las probetas no podrá diferir en más de dos puntos porcentuales y ningún valor individual pueda salirse de él en más de tres puntos porcentuales.

#### **4.2.3.3. Permeabilidad**

Para asegurar que los vacíos con aire son los adecuados, se mide la capacidad de drenaje sobre una probeta, similar a las que se utilizan para el ensayo cántabro. El tiempo de drenar la muestra no deberá exceder de 15 segundos.

#### **4.2.4. Calidad del producto final**

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas por el diseño geométrico. Se deberán efectuar las siguientes verificaciones:

##### **4.2.4.1. Compactación**

La verificación de la compactación de la capa se realizará en una proporción de cuando menos cinco briquetas por día de producción, pero no más de tres pruebas del día ensayado podrán presentar valores que difieran en más de cuatro puntos porcentuales del diseño.

##### **4.2.4.2. Espesor**

Esta verificación se hará obteniendo los espesores de los núcleos extraídos que serán utilizados para la comprobación de la compactación, el espesor medio de la capa compactada, no podrá ser inferior al de diseño.

## 5. MANTENIMIENTO

### 5.1 Tipos de mantenimiento

Tomando en cuenta que la construcción de carreteras con carpeta de rodadura drenante, utilizando asfalto modificado con polímero se hace desde los años ochenta, hasta hace poco no se tenía la necesidad de darles mantenimiento a estas mezclas. Dicho mantenimiento es necesario debido, principalmente, a los siguientes factores:

- Desprendimiento de áridos.
- Zonas con problemas de deslizamiento.
- Colmatación repetida de vacíos.
- Contaminación del pavimento.

El mayor mantenimiento que se le ha dado a este tipo de carpeta, ha sido limpieza, para restituirle la drenabilidad de diseño. Actualmente existen técnicas de lavado a presión que pueden limpiar las mezclas retardando su colmatación. Es importante señalar que, si bien pierde sus propiedades drenantes, seguirá funcionando como carpeta de rodado.

Se puede trabajar un recapeo colocando una capa drenante de menor espesor sobre el drenante antiguo, acercándonos a la solución “Holandesa” compuesta de dos capas drenantes, la primera más gruesa y la rodadura más fina.

Cuando el pavimento presenta deterioros de mayor magnitud, se realiza el fresado de la capa drenante y se repone con mezclas discontinuas o bien con otra capa drenante.

## **5.2 Vida útil**

La resistencia de la mezcla de un pavimento asfáltico drenante no se basa en la cohesión, sino en el rozamiento interno, lo que hace que la mezcla sea bastante crítica ante ciertos esfuerzos de tráfico. Para conjugar estos condicionantes, debe realizarse un diseño cuidadoso de la mezcla.

En este tipo de mezclas, se considera que la vida del material está condicionada al grado en que el asfalto se endurece y empiezan a presentarse desprendimientos de áridos, esto se debe a los vacíos en la mezcla.

Una de las razones de la utilización de asfaltos modificados con polímeros en estas mezclas es, la de poder permitir un espesor mayor de película de asfalto (sin que se produzcan escurrimientos) alargando así la vida de la mezcla.

La aparición de roderas no crea dificultades en estas mezclas dado que su funcionamiento interno se basa en el alto grado de enclavamiento de los áridos, cuidadosamente seleccionados.

Es preciso prestar atención al aumento del contenido de asfalto en la mezcla, hasta tal punto que, o bien provoque una disminución del enclavamiento de los áridos o se observe que afecte negativamente la capacidad drenante de la mezcla.

El ensayo Cántabro muestra claramente hasta qué punto los asfaltos modificados con polímeros pueden mejorar las prestaciones de la mezcla drenante. Este procedimiento evalúa las propiedades de cohesión de las mezclas, tanto en seco como en húmedo, y es considerado como un indicador de la resistencia al “desprendimiento de los áridos”.

Al construir este tipo de mezcla se obtiene una serie de características peculiares muy distintas a las mezclas convencionales, por ejemplo, la resistencia al deslizamiento a altas velocidades, pavimento cómodo, silencioso y control del fenómeno de hidroplaneo, éste fenómeno ocurre debido a la presencia del agua en la superficie del pavimento, provocando disminución de adherencia neumático-pavimento, ya que el agua actúa como un lubricante.

Aunque la velocidad de desplazamiento la puede controlar el conductor, y los neumáticos han evolucionado favorablemente en una mezcla convencional, la película de agua aún permanece cierto tiempo sobre la superficie, dependiendo de la pendiente transversal del pavimento y ésta depende del diseño geométrico de la carretera, es por ello que no se puede alterar esta pendiente para mejorar la drenabilidad del agua sobre la superficie del pavimento. La solución que ofrece una mezcla drenante es hacer que el agua drene lo más pronto posible, lo cual se logra por su alta porosidad, entonces el agua drena hasta el fondo de la carpeta a través de los huecos internos y finalmente, se desplaza hacia las cunetas de modo semejante a un concreto convencional, sólo que por debajo de la superficie de rodadura.



## 6. CASO PRÁCTICO

### 6.1 Generalidades

**PROYECTO:** Huehuetenango - Villa San Pedro Jocopilas – El Tunal – Santa Cruz del Quiche (RN-15)

**TRAMO:** Intersección RN-15 Km-189-Santa Cruz de El Qiché

Cantera, Paxcaman, carretera a San Bartolomé Jocotenango

Diseño de Mezcla Asfáltica Drenante CAD12 (Normas Españolas)

Arena y grava trituradas en el campamento, Santa Cruz de El Quiché

Asfalto Modificado con polímeros MEXPHALTE PM TIPO II

#### **MEXPHALTE PM TIPO II**

Es un asfalto modificado de tipo plastómero, modificado con un copolímero llamado EVA (Etil-Vinil-Acetato), cuya estructura es lineal.

La modificación del asfalto se hace por medio de agitación y temperatura, en un tiempo corto el polímero se funde y se incorpora al asfalto, por lo regular son 2 horas a 180 °C; es por ello que el asfalto es premodificado, ya que la modificación se hace en planta. La modificación de este asfalto se realiza actualmente en la Planta SHELL, de Cortez, Honduras.

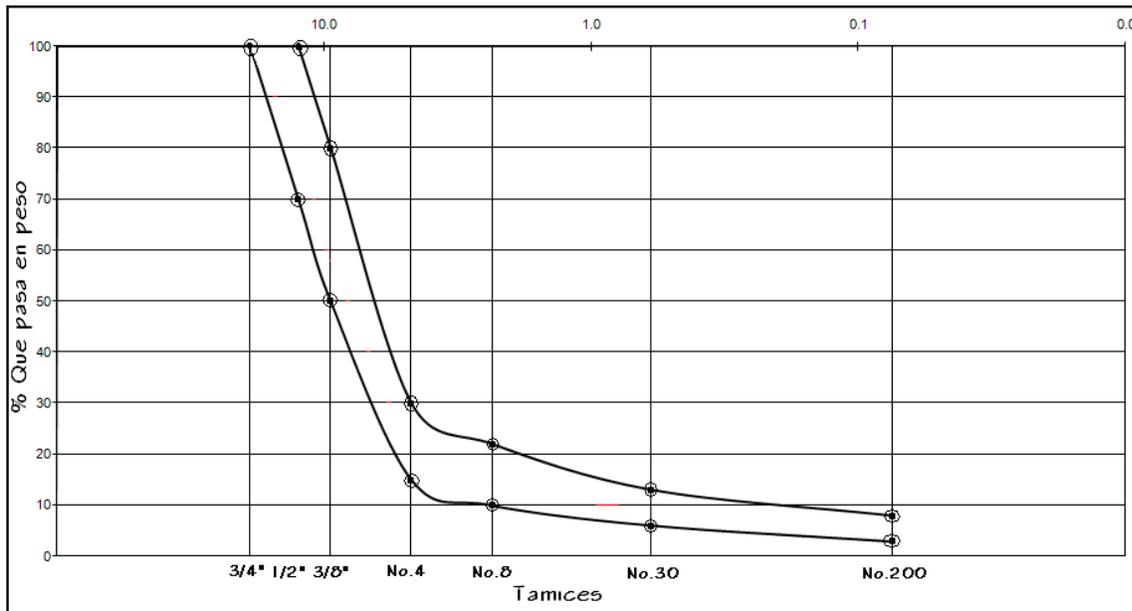
Se seleccionó este tipo de asfalto modificado, debido principalmente, al tipo de mezcla, ya que es una mezcla drenante, si el caso fuese una mezcla densa o semidensa, se recomienda la utilización de un asfalto tipo elastómero.

Para la selección del asfalto modificado, también influyó el tipo de clima templado que mantiene esta región.

**Tabla X. Granulometría (CAD 12)**

<b>ESPECIFICACIÓN</b>		
<b>TAMIZ</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
3/4"	100	100
1/2"	70	100
3/8"	50	80
No.4	15	30
No.8	10	22
No.30	6	13
No.200	3	6

**Figura 25. Curva granulométrica (CAD 12)**



### Granulometría de los agregados:

TAMICES	%PASA		
	3/4" - 1/2"	1/2" - 1/4"	1/4" - 0
3/4"	100.0	100.0	100.0
1/2"	23.6	100.0	100.0
3/8"	2.4	74.8	100.0
N°4	1.1	8.0	98.9
N°8	0.9	3.8	72.3
N°30	0.8	3.6	36.1
N°200	0.5	1.9	14.8

Se escogieron distintos porcentajes de arena, para obtener varias alternativas de curvas granulométricas comprendidas dentro de la franja especificada CAD12 (Ver anexo 1).

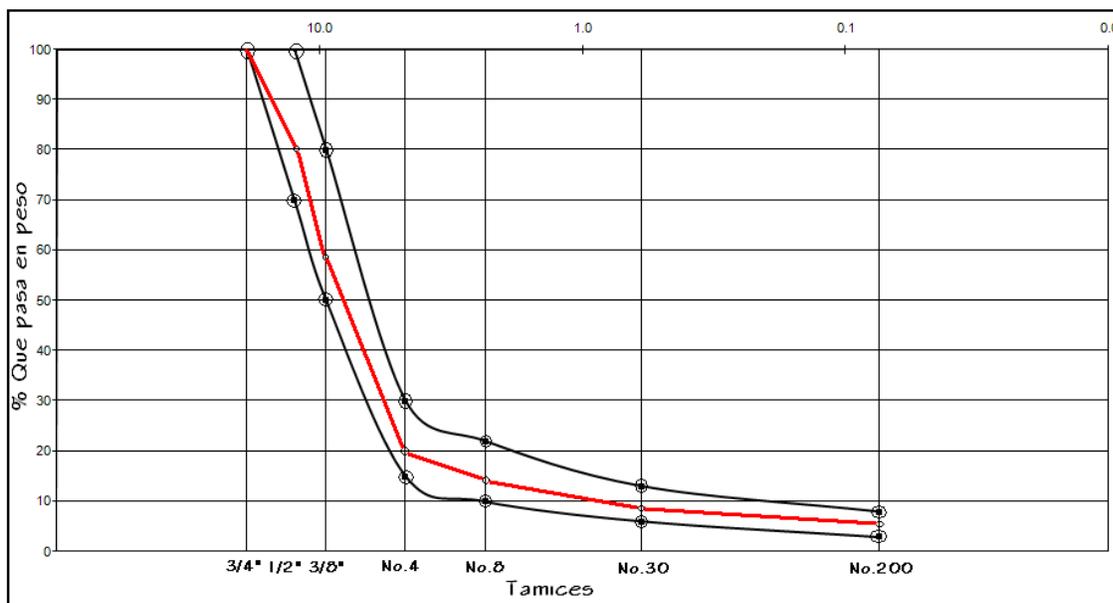
Se estableció un 6% de asfalto modificado con polímero para trabajar las briquetas con la metodología Cántabro con una energía de compactación de 50 golpes por cara, para determinar la permeabilidad de las briquetas y establecer cual es la curva granulométrica adecuada, según la permeabilidad y la conveniencia al proyecto, de acuerdo a la producción de los agregados en la trituradora. Por ejemplo si la trituradora de agregados produce poco material fino, entonces la curva a elegir tiene que tener el porcentaje mínimo de arena que cumpla el ensayo de permeabilidad, caso contrario se eleva el costo de la producción de los agregados. Nota: se estableció el 6% de asfalto modificado con polímero, ya que se consideró el máximo para no tener escurrimiento en la mezcla y para cumplir con la permeabilidad.

A continuación (Ver tabla XI), se presentan los datos de los porcentajes de los distintos tipos de materiales según tamaño nominal que se utilizaran para el Diseño de la Mezcla Drenante.

**Tabla XI. Porcentajes a utilizar en la Mezcla drenante**

TAMIZ	% PASA
3/4" a 1/2"	27%
1/2" a 1/4"	57%
1/4" a 0	16%

**Figura 26. Curva integrada**



—○— Granulometría del Proyecto, 
 
 Especificación

A continuación se realizarán los ensayos respectivos, para determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados para poder concluir si los agregados cumplen con las condiciones o requisitos mínimos que requiere este tipo de mezcla asfáltica drenante CAD12 (Ver anexo 3).

### 6.1.1 Requisitos de los materiales

**Partículas fracturadas:**

	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PESOS</b>	<b>ENSAYO No 1</b>	<b>ENSAYO No 2</b>
A	PESO DE LA MUESTRA MAS TARA	395.60	447.30
B	PESO DE LA TARA	108.10	108.10
A – B	PESO DE LA MUESTRA DESTARADA	287.50	339.20
C	PESO DE LAS CARAS FRACTURADAS MAS TARA	390.20	443.50
B	PESO DE LA TARA	108.10	108.10
C – B	PESO DE LAS CARAS FRACTURADAS	282.10	335.40
%CF	% DE CARAS FRACTURADAS	98.12	98.88
<b>PROMEDIO</b>		98.5	

Porcentaje de Caras Fracturadas = 98.5 (si cumple, ver anexo 3)

Ejemplo:

Ensayo No.1

$$\%CF = \left( \frac{C - B}{A - B} \right) * 100 = \left( \frac{282.1}{287.5} \right) * 100 = 98.12$$

**Partículas planas y alargadas:**

	DESCRIPCIÓN DE LOS PESOS	ENSAYO No 1	ENSAYO No 2
A	PESO DE LA MUESTRA MAS TARA	443.90	385.90
B	PESO DE LA TARA	108.10	108.10
A – B	PESO DE LA MUESTRA DESTARADA	335.80	277.80
C	PESO DE LAS PART. PLANAS Y ALARG. MAS TARA	129.70	124.10
B	PESO DE LA TARA	108.10	108.10
C – B	PESO DE LAS PART. PLANAS Y ALARGADAS	21.60	16.00
%PPA	% DE LAS PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS	6.43	5.76
<b>PROMEDIO</b>		6.1	

Porcentaje de Partículas Planas y Alargadas = 6.1 (si cumple, ver anexo 3)

Ejemplo:

Ensayo No.1

$$\%PPA = \left( \frac{C - B}{A - B} \right) * 100 = \left( \frac{21.6}{335.8} \right) * 100 = 6.43$$

**Coefficiente de desgaste:**

Agregado de ¾" a ½"

CICLOS	500	No	
PESO INICIAL	A	gr	5000
Peso Retenido después de la prueba sobre Tamiz No 10 ó 12	B	gr	3941.63
% En Peso que pasa el Tamiz No.10 ó No.12	D <sub>M</sub>	%	<b>21.2%</b>

Porcentaje de Desgaste Agregado Grueso = 21.2 (si cumple, ver anexo 3)

Agregado de 1/2" a 1/4"

<b>CICLOS</b>	500	No	
PESO INICIAL	A	gr	5000
Peso Retenido después de la prueba sobre Tamiz No 10 ó 12	B	gr	3918.63
% En Peso que pasa el Tamiz No.10 ó No.12	D <sub>M</sub>	%	<b>21.6%</b>

Porcentaje de Desgaste Agregado Fino = 21.6 (si cumple, ver anexo 3)

Ejemplo:

Agregado de 1/2" a 1/4"

$$\%D_M = \left( \frac{A - B}{A} \right) * 100 = \left( \frac{5000 - 3918.63}{5000} \right) * 100 = 21.6\%$$

**Durabilidad de los agregados por medio del sulfato de sodio:**

Agregado de 3/4" a 3/8"

Pasa	Retiene	(A) Muestra original, % retenido	(B) Peso antes del ensayo, gr	(C) Peso después de la prueba, gr	(D) Pérdida de peso después del ensayo	(E) Pérdida en peso después de ensayo, %	(D <sub>Q</sub> ) Pérdida promedio corregida, %
3/4"	1/2"	78.1	1,005.8	979.5	26.2	2.6	2.0
1/2"	3/8"	21.9	495.5	478.1	17.4	3.5	0.8
Totales		100	1,501.2	1,457.6	43.6	6.1%	2.8%

Porcentaje de Desgaste = 2.8 (si cumple, ver anexo 3)

Agregado de 1/2" a 1/4"

Pasa	Retiene	(A) Muestra original, % retenido	(B) Peso antes del ensayo, gr	(C) Peso después de la prueba, gr	(D) Pérdida de peso después del ensayo	(E) Pérdida en peso después de ensayo, %	(D <sub>Q</sub> ) Pérdida promedio corregida, %
1/2"	3/8"						
3/8"	No.4	100.0	300.0	292.9	7.1	2.4	2.4
Totales							2.4%

Porcentaje de Desgaste = 2.4 (si cumple, ver anexo 3)

Ejemplo: Agregado de 1/2" a 1/4"

$$\%D_Q = \left( \frac{B - C}{B} \right) * A = \left( \frac{300 - 292.9}{300} \right) * 100 = 2.4\%$$

**Plasticidad:**

LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO			CLASIFICACION
TARRO	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	TARRO	<b>4</b>	<b>5</b>	Limite Liquido (L.L)
P.B.H.	37.70	34.60	34.60	P.B.H.	18.80	18.40	<b>19.11</b>
P.B.S.	32.80	30.80	31.10	P.B.S.	17.60	17.30	
TARA	11.10	11.10	11.00	TARA	11.10	11.10	
							Limite Plástico (L.P)
P.N.S.	21.70	19.70	20.10	P.N.S.	6.50	6.20	<b>18.10</b>
DIF.	4.90	3.80	3.50	DIF.	1.20	1.10	
% Hum	<b>22.6</b>	<b>19.3</b>	<b>17.4</b>	% Hum	<b>18.5</b>	<b>17.7</b>	Índice de plasticidad
No.Golpes	<b>11</b>	<b>25</b>	<b>36</b>	Promedio	<b>18.10</b>		(I.P) <b>1.01</b>

Ejemplo:

Tarro1

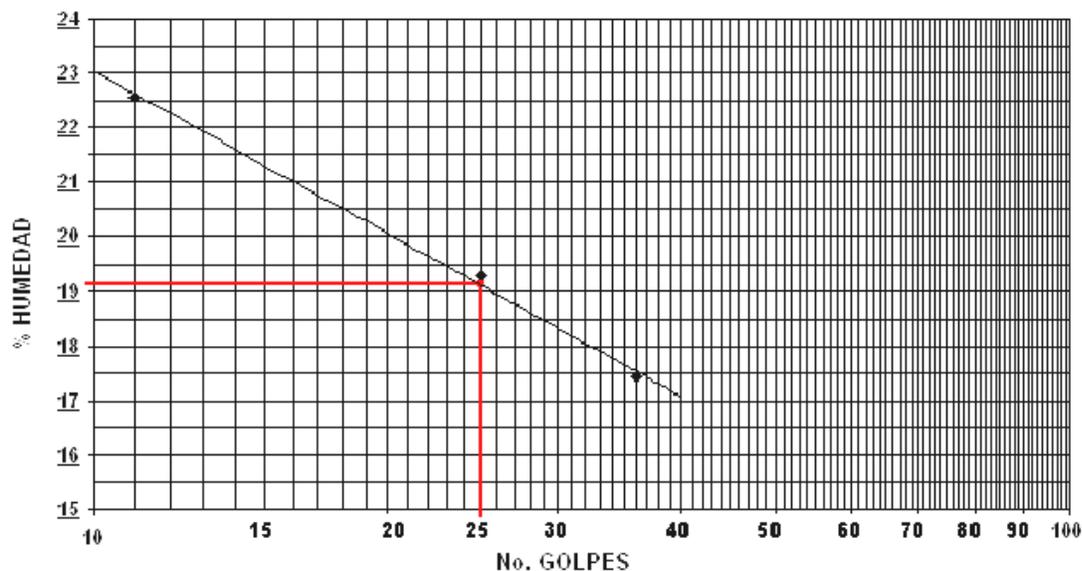
$$\% H = \left( \frac{PBH - PBS}{PBS - TARA} \right) * 100 = \left( \frac{37.7 - 32.8}{32.8 - 11.1} \right) * 100 = 22.6\%$$

Tarro 4

$$\% H = \left( \frac{PBH - PBS}{PBS - TARA} \right) * 100 = \left( \frac{18.8 - 17.6}{17.6 - 11.1} \right) * 100 = 18.5\%$$

Índice plástico = I.P = (L.L - L.P) = (19.11 - 18.1) = 1.01 (si cumple, ver anexo 3)

GRAFICA DE LIMITE LÍQUIDO



Equivalente de arena:

DESCRIPCIÓN DE LA HORA DE LOS ENSAYOS	ENSAYO No 1	ENSAYO No 2
HORA INICIO DE SATURACIÓN	00:00	00:03
HORA FINAL DE SATURACIÓN	00:10	00:13
HORA INICIO DE REPOSO	00:12	00:15
HORA FINAL DE REPOSO	00:32	00:35
<b>LECTURA DE ARENA</b>	3.50	3.30
<b>LECTURA DE ARCILLA</b>	5.10	4.90
<b>% EQUIVALENTE DE ARENA</b>	68.63	67.35
<b>PROMEDIO</b>	<b>68</b>	

Porcentaje de equivalente de arena = 68 (si cumple, ver anexo 3)

Ejemplo:

Ensayo No.1

$$\% \text{ E.A} = \left( \frac{\text{Lectura.de.Arena}}{\text{Lectura.de.Arcilla}} \right) * 100 = \left( \frac{3.5}{5.1} \right) * 100 = 68.63\%$$

Cumpliendo con los requisitos de los agregados producidos en la trituradora que serán empleados en la mezcla, procedemos con la elaboración de la misma, tomando en cuenta que el asfalto a utilizar, será asfalto modificado con polímero (Mexphalte PM TIPO II) y la granulometría será la que corresponda a un 16% de arena (Tamiz ¼" a 0).

Las especificaciones de la mezcla asfáltica drenante CAD12 (ver anexo 1), dan 4.5% de asfalto (% en masa total sobre la mezcla) como mínimo a utilizar en la mezcla. En nuestro caso para obtener una mejor tendencia en las gráficas que intervenga el porcentaje de asfalto, se empezará el diseño con 4% de asfalto modificado con polímeros y se aumentará el contenido de asfalto en 0.5%, hasta llegar a 5.5% de asfalto (Ver figura 27).

Con cada contenido de asfalto modificado con polímeros (Mexphalte PM Tipo II), se realizarán los ensayos determinados para este tipo de mezcla. Para la mezcla de agregados con el asfalto, se deberá tomar en cuenta la temperatura máxima y mínima para la mezcla y compactación, según la curva reológica del asfalto (ver anexo 2).

**Figura 27. Mezcla de asfalto con agregados a temperatura especificada**



### 6.1.2 Ensayos prácticos de laboratorio

Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua (*stripping*):

ENSAYO No.	PORCENTAJE DESVESTIDO	PORCENTAJE RECUBIERTO
1	1.0%	99.0%
2	1.0%	99.0%
<b>Promedio</b>	1.0%	99.0%
<b>Especificación</b>	<b>&lt; 5%</b>	<b>&gt;95%</b>

**Gravedad específica teórica máxima:**

<b>ENSAYOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA RICE</b>						
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO</b>	<b>% BIT</b>	<b>4.0</b>	<b>4.5</b>	<b>5.0</b>	<b>5.5</b>	
PESO DEL MATRAZ + AGUA AFORADA.	PMa.	2015.00	2015.00	2015.00	2015.00	
PESO DEL MATRAZ HUMEDO	PMw	793.90	794.30	794.10	794.20	
PESO DEL MATRAZ + MATERIAL.	PMm	1518.00	1522.00	1527.60	1533.20	
PESO DEL MATERIAL.	Pm=PMm - PMw	724.10	727.70	733.50	739.00	
PESO DEL MATRAZ + MATERIAL + AGUA.	Pc	2444.20	2443.00	2443.30	2443.50	
AGUA DESPLAZADA (AD)	AD=Pm+ PMA-Pc	294.90	299.70	305.20	310.50	
PESO ESPECÍFICO DE LA MUESTRA.	PEM=Pm/ AD	2.455	2.428	2.403	2.380	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEÓRICA MÁXIMA</b>	<b>RICE =</b>	<b>2.455</b>	<b>2.428</b>	<b>2.403</b>	<b>2.380</b>	

Ejemplo:

% Bitumen 4.0

$$RICE = \left( \frac{PMm - PMw}{PMm - PMw + PMa - Pc} \right) = \left( \frac{1518 - 793.9}{1518 - 793.9 + 2015 - 2444.2} \right) = 2.455$$

**Densidad relativa aparente (Volumétrica):**

Probeta	% Bitumen	Peso Briqueta (A)	Diámetro Del Espécimen	Altura Del Espécimen	Volumen Briqueta	Densidad (Gmb)
Nº	% Pb	(gr)	cm.	cm.	(cm³)	(gr / cm³)
1	4.0	1129.80	10.22	7.46	611.97	1.846
2	4.0	1129.40	10.22	7.46	611.97	1.846
3	4.0	1134.70	10.22	7.45	611.15	1.857
4	4.0	1130.31	10.22	7.46	611.97	1.847
<b>PROM.</b>	<b>4.0</b>					<b>1.849</b>
5	4.5	1141.40	10.22	7.58	621.81	1.836
6	4.5	1139.70	10.22	7.33	601.31	1.895
7	4.5	1140.20	10.22	7.38	605.41	1.883
8	4.5	1135.18	10.22	7.40	607.05	1.870
<b>PROM.</b>	<b>4.5</b>					<b>1.871</b>
9	5.0	1144.50	10.22	7.38	605.41	1.890
10	5.0	1145.90	10.22	7.39	606.23	1.890
11	5.0	1143.88	10.22	7.37	604.59	1.892
12	5.0	1145.40	10.22	7.38	605.41	1.892
<b>PROM.</b>	<b>5.0</b>					<b>1.891</b>
13	5.5	1150.60	10.22	7.44	610.33	1.885
14	5.5	1147.00	10.22	7.40	607.05	1.889
15	5.5	1148.60	10.22	7.42	608.69	1.887
16	5.5	1147.80	10.22	7.40	607.05	1.891
<b>PROM.</b>	<b>5.5</b>					<b>1.888</b>

Ejemplo:

Probeta No.1

$$Gmb = D_{RA} = \left( \frac{(A)}{\frac{\pi}{4} * d^2 * h} \right) = \left( \frac{(1129.8)}{\frac{\pi}{4} * 10.22^2 * 7.46} \right) = 1.846 \text{ gr/cm}^3$$

**Porcentaje de vacíos:**

<b>% ASFALTO</b>	<b>RICE</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>% VACÍOS</b>
4.0	2.455	1.849	24.7
4.5	2.428	1.871	22.9
5.0	2.403	1.891	21.3
5.5	2.380	1.888	20.7

Ejemplo: % Asfalto 4.0

$$\% V = \left( \frac{Rice - Densidad}{Rice} \right) = \left( \frac{2.455 - 1.849}{2.455} \right) = 24.7\%$$

**Cántabro en seco:**

<b>Bitumen</b>	<b>Peso inicial de la Probeta (A)</b>	<b>Peso final de la Probeta (B)</b>	<b>Peso del material desprendido</b>	<b>Perdida por Desgaste (PD)</b>	<b>Promedio</b>
<b>%</b>	<b>grs.</b>	<b>grs.</b>	<b>grs.</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>4.0</b>	1136.15	549.09	587.06	51.7	<b>52</b>
<b>4.0</b>	1134.67	540.61	594.06	52.4	
<b>4.5</b>	1145.48	877.44	268.04	23.4	<b>25</b>
<b>4.5</b>	1143.26	839.69	303.57	26.6	
<b>5.0</b>	1154.69	940.25	214.44	18.6	<b>18</b>
<b>5.0</b>	1149.09	949.15	199.94	17.4	
<b>5.5</b>	1158.60	1013.56	145.04	12.5	<b>13</b>
<b>5.5</b>	1154.67	1006.58	148.09	12.8	

Ejemplo: Probeta No.1

$$P.D = \left( \frac{(A - B)}{A} \right) * 100 = \left( \frac{1136.15 - 549.09}{1136.15} \right) * 100 = 51.7\%$$

**Cántabro en húmedo:**

Bitumen	Peso inicial de la probeta (A)	Peso de la probeta s.s.s. (B)	Agua retenida (C)	Peso final de la probeta (D)	Peso de la probeta - agua retenida	Peso del material desprendido	Perdida por desgaste	Promedio
%	grs.	grs.	grs.	grs.	grs.	grs.	%	%
4.0	1134.70	1152.61	17.91	555.45	537.54	597.16	52.6	53
4.0	1127.00	1144.99	17.99	545.99	528.00	599.00	53.1	
4.5	1140.20	1155.51	15.31	843.65	828.34	311.86	27.4	29
4.5	1140.60	1155.12	14.52	806.10	791.58	349.02	30.6	
5.0	1150.90	1164.70	13.80	886.45	872.65	278.25	24.2	24
5.0	1146.40	1160.22	13.82	887.38	873.56	272.84	23.8	
5.5	1156.10	1168.29	12.19	929.49	917.30	238.80	20.7	21
5.5	1149.80	1163.00	13.20	927.12	913.92	235.88	20.5	

Ejemplo:

Probeta No.1

P.D=

$$\left( \frac{A - (D - (B - A))}{A} \right) * 100 = \left( \frac{1134.7 - (555.45 - (1152.61 - 1134.7))}{1134.7} \right) * 100 = 52.6\%$$

## GRÁFICAS

Figura 28. Densidad relativa vrs. porcentaje de asfalto

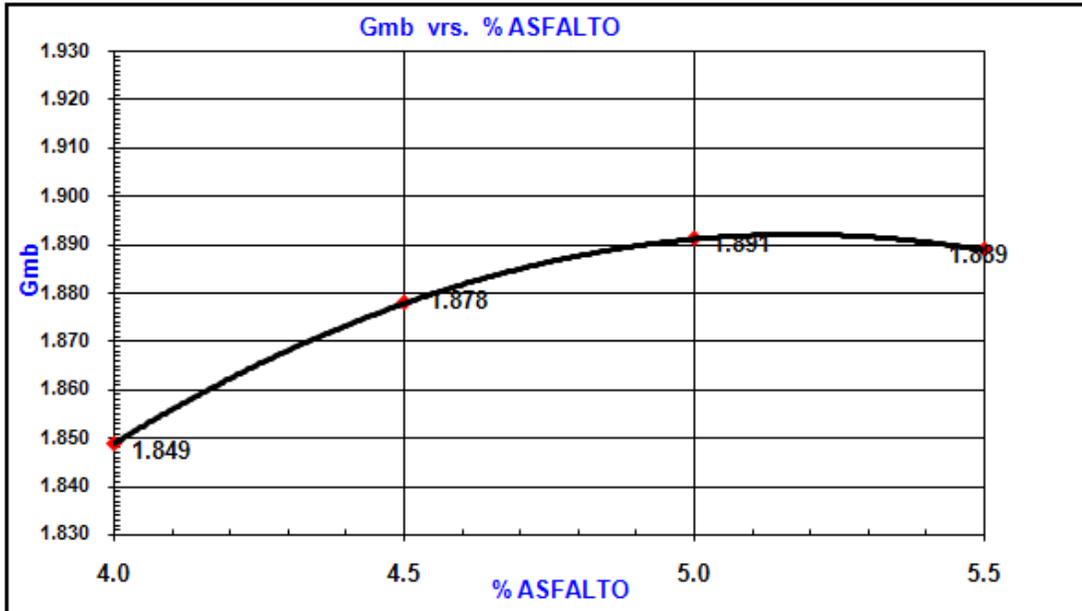


Figura 29. Porcentaje de vacíos de aire vrs. porcentaje de asfalto

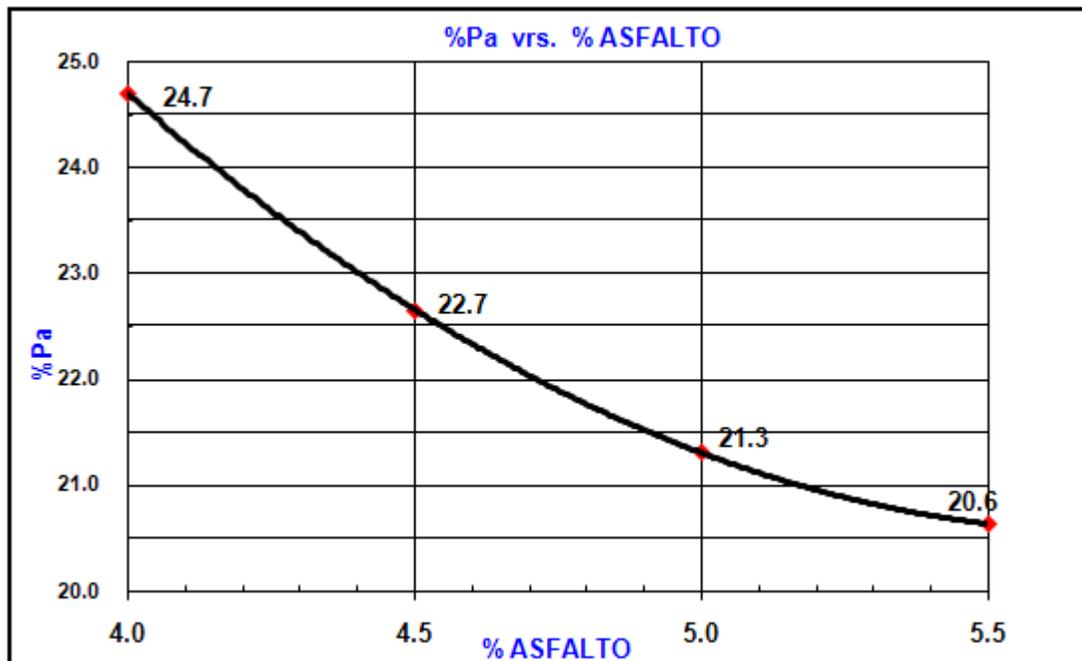


Figura 30. Permeabilidad vrs. porcentaje de asfalto

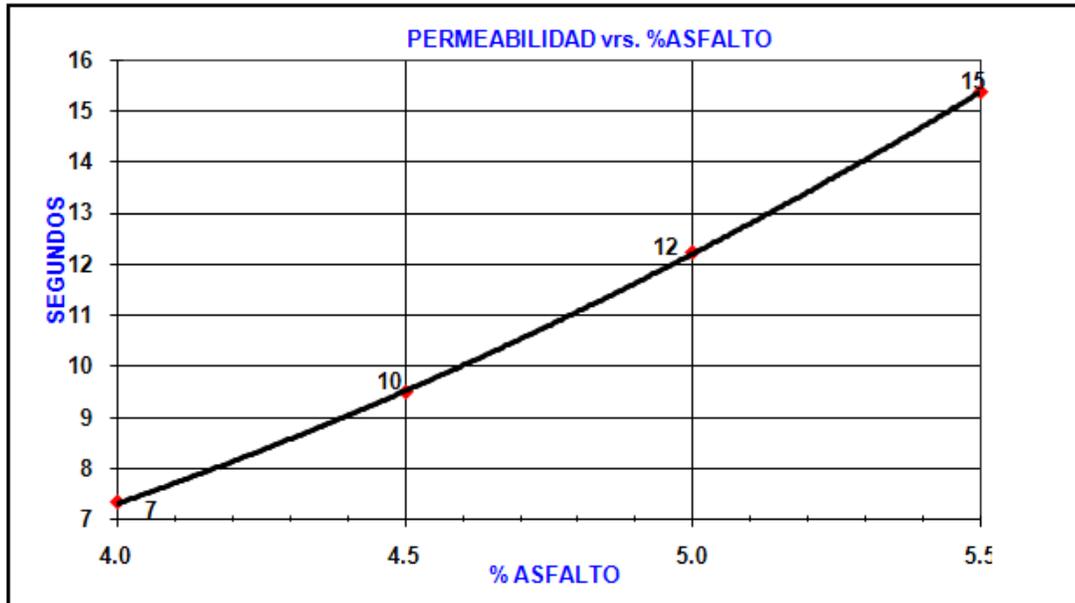
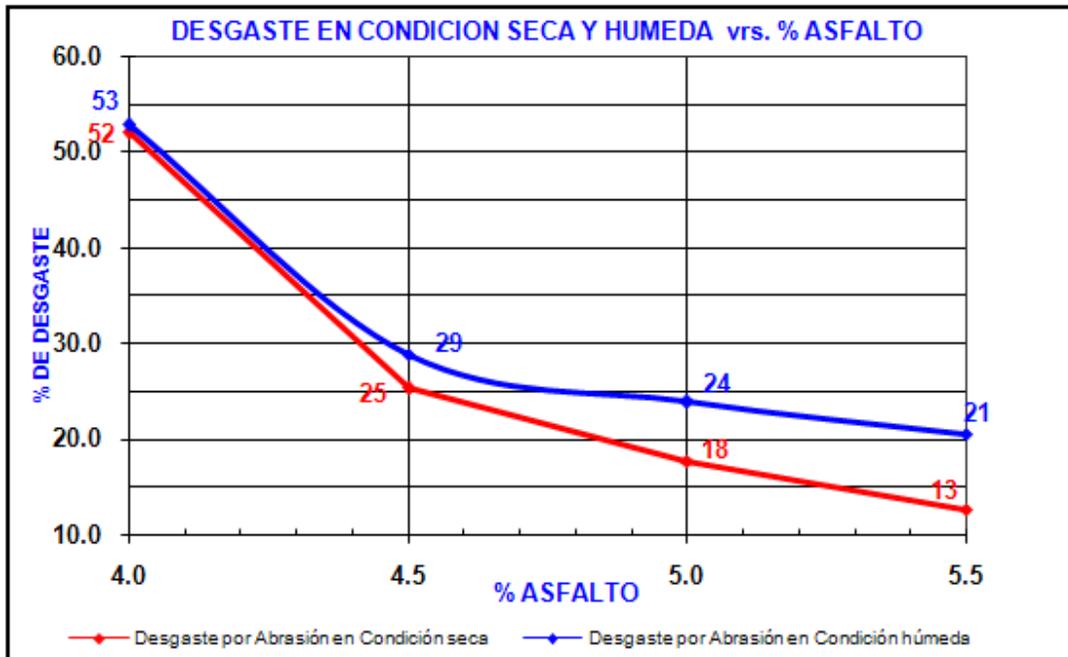


Figura 31. Porcentaje de desgaste vrs. porcentaje de asfalto



**RESUMEN DE RESULTADOS PARA LOS DISTINTOS PORCENTAJES DE ASFALTO.**

<b>% Asfalto</b>	<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Vacios de Aire</b>	<b>Ensayo de Permeabilidad</b>	<b>Desgaste por Abrasión en Condición seca</b>	<b>Desgaste por Abrasión en Condición húmeda</b>
<b>% Pb</b>	<b>Gmb</b>	<b>% Pa</b>	<b>seg. /100 ml</b>	<b>300 R.P.M.</b>	<b>300 R.P.M.</b>
4.0	1.849	24.7	7	52	53
4.5	1.878	22.7	10	25	29
5.0	1.891	21.3	12	18	24
5.5	1.889	20.6	15	13	21

**RESULTADOS ÓPTIMOS DE DISEÑO**

<b>4.8</b>	<b>1.885</b>	<b>22.0</b>	<b>10.9</b>	<b>18</b>	<b>24</b>
------------	--------------	-------------	-------------	-----------	-----------

**ESPECIFICACIÓN**

<b>4.5 - 5.1</b>		<b>20 a 25</b>	<b>Máximo 15 Seg.</b>	<b>Máximo 25%</b>	<b>Máximo 40%</b>
------------------	--	----------------	---------------------------	-----------------------	-----------------------

## INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Al revisar la figura 28, se observa que la mayor densidad de las briquetas, esta entre 5.0% y 5.5% de asfalto modificado, pero los vacíos de aire están cercanos al mínimo (figura 29) y la permeabilidad está cerca del máximo admisible (figura 30), con lo anterior descrito, la mezcla tiene pocas probabilidades que cumpla con la drenabilidad. Por tanto se consideró utilizar un 4.8% de asfalto modificado, éste porcentaje no garantiza la máxima densidad de la briketa, pero sí, mejor permeabilidad y porcentaje de vacíos de aire que son factores importantes a cumplir en este tipo de mezcla, sin restarle importancia a la adherencia de la mezcla. Al considerar un 4.8% de asfalto modificado con polímero para la mezcla, nuestra fórmula de trabajo será la siguiente:

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS OBTENIDOS	ESPECIFICACIÓN	
		MÍNIMO	MÁXIMO
PORCENTAJE DE ASFALTO (AASSTO T164)	4.80	4.50%	5.10%
DENSIDAD APARENTE DE LA BRIQUETA (AASSTO T-166)	1.885	NE	NE
% VACÍOS DE AIRE	22.0	20%	25%
ENSAYO DE PERMEABILIDAD SEG./100ML	10.9		15 Seg.
PÉRDIDA POR ABRASIÓN EN CONDICION SECA	18		25%
PÉRDIDA POR ABRASIÓN EN CONDICION HUMEDA	24		40%
ENSAYO DE DESVESTIMIENTO (AASSTO T – 182)	1%		5%

## CONCLUSIONES

1. En el diseño de mezclas asfálticas drenantes se busca un compromiso entre el porcentaje de vacíos de aire y la resistencia al desgaste de la misma. Para este diseño por la practicidad del método y la accesibilidad a los equipos de laboratorio, se escogió la Metodología de Diseño Cántabro. Debido al nivel de exigencias impuestas por el tránsito a las mezclas drenantes como superficies de rodadura y a su alto contenido de vacíos de aire, es necesario que las propiedades físico-mecánicas de los materiales que integran la granulometría, sea excelentes. Para nuestro proyecto y de acuerdo al caso práctico, la curva granulométrica seleccionada y el porcentaje de asfalto óptimo modificado con Mexphalte PM Tipo II de 4.8%, sí cumplen con la permeabilidad, el porcentaje de vacíos de aire y el desgaste máximo permitido es menor al establecido.
2. Debido a la gran cantidad de vacíos de aire en la mezcla drenante, el principal problema es el endurecimiento del asfalto, lo que provoca desprendimiento de los áridos, para lo que es necesario usar asfaltos modificados que proporcionen un espesor mayor de película al agregado.
3. Durante la colocación de la capa drenante se necesita realizar un control y aseguramiento de calidad exhaustivo, desde la preparación y construcción de las distintas capas que integran una estructura de pavimento hasta la apertura al tránsito.

4. Para elegir de forma sencilla y práctica el modificador adecuado para un asfalto, se evalúa tanto su compatibilidad con los agregados, como el comportamiento del asfalto ya modificado de acuerdo a la temperatura de desempeño en campo, o sea las condiciones climáticas a las que estará expuesta la mezcla asfáltica.

## RECOMENDACIONES

1. Una de las principales características de la mezcla drenante es la eliminación rápida del agua en la superficie del pavimento, por ello se recomienda la utilización de este tipo de mezcla en zonas del país, donde la intensidad de lluvia sea alta y continua, para garantizar al usuario el desplazamiento seguro sobre la superficie aún en condiciones de lluvia.
2. La mezcla drenante se caracteriza por su alto contenido de vacíos de aire, por lo que se recomienda considerar el mantenimiento adecuado de la capa, para no perder el objetivo de la drenabilidad en la misma.
3. Se sugiere mantener la temperatura de la mezcla drenante, dentro de los límites especificados por la curva reológica (ver anexo 2) proporcionada por el proveedor del asfalto, para garantizar que el polímero no se queme, debido al exceso de la temperatura.
4. En algunos casos, se recomienda el uso de esta capa en aquellos lugares donde sea necesario controlar el ruido que las llantas provocan, principalmente en donde por razones humanitarias sea necesario el silencio, ya que su porosidad disminuye el ruido al paso del neumático.



## BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highways and Transportation Officials, USA (AASHTO)
2. American Society for Testing and Materials, USA (ASTM)
3. Enrique Anckermann Alvarez, “Manual para Laboratoristas de Suelos en Construcción de Carreteras”
4. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes
5. Especificaciones Técnicas Generales de Concretos Asfálticos Drenantes para Carpetas de Rodadura (CAD12). Versión 4, 2006
6. Manual de procedimientos de Ensayos de Laboratorio, El Salvador 1990
7. Normas de ensayo redactadas por el Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo del Centro de Estudios y Experimentación del Ministerio de Obras Públicas –Cedex- España (NLT)
8. Normas de ensayos de materiales para carreteras, Colombia(INV)



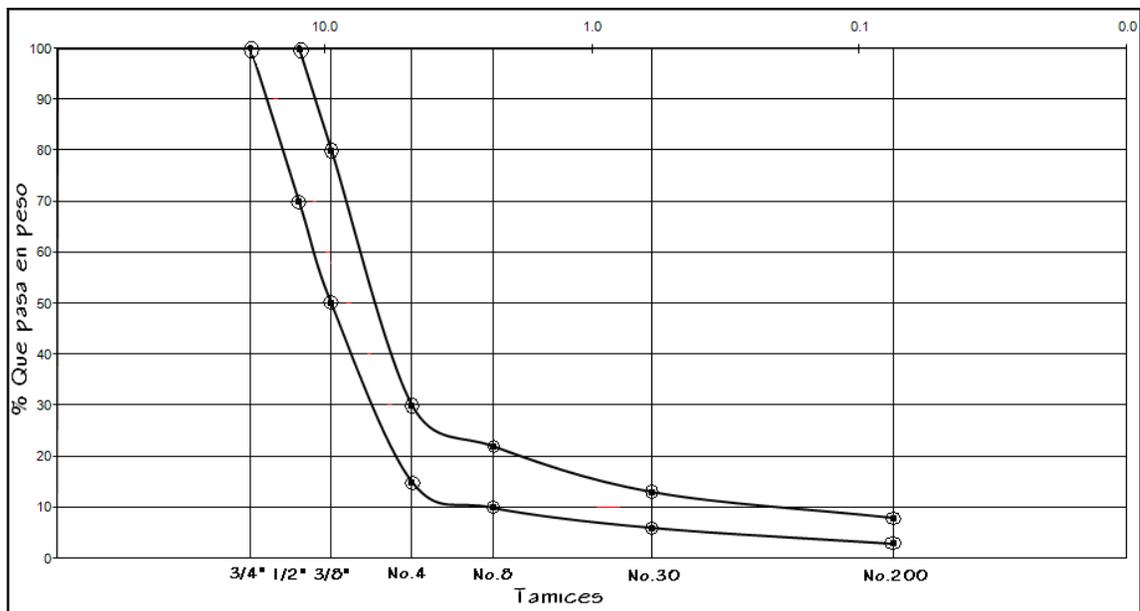
# ANEXO 1

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES CONCRETO ASFÁLTICO DRENANTE (CAD 12)

### GRANULOMETRÍA

<b>ESPECIFICACIÓN</b>		
<b>TAMIZ</b>	<b>MINIMO</b>	<b>MAXIMO</b>
3/4"	100	100
1/2"	70	100
3/8"	50	80
No.4	15	30
No.8	10	22
No.30	6	13
No.200	3	6

### CURVA GRANULOMÉTRICA



## REQUISITOS DE LOS AGREGADOS

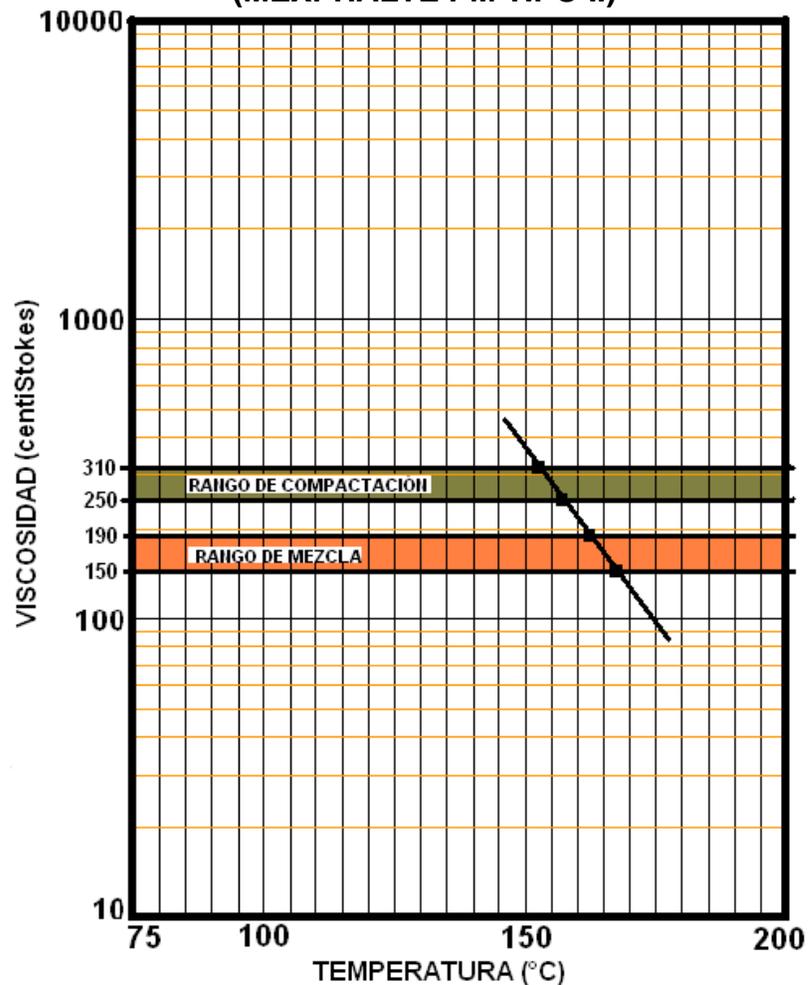
<b>AGREGADO GRUESO</b>	
Caras fracturadas, %	> 75
Partículas planas y/o alargadas, %	< 8
Coefficiente de desgaste, %	< 25
Durabilidad por ataque con sulfato de sodio, %	< 10
Ensayo de adherencia, %	> 95
<b>AGREGADO FINO</b>	
Equivalente de arena, %	> 50
Plasticidad, %	< 4

## REQUISITOS DE DOSIFICACIÓN PARA LA MEZCLA

<b>CONCRETO ASFÁLTICO DRENANTE CAD 12</b>		
Ensayo Marshall	Número de golpes por cara	50
	Porcentaje de Vacíos de aire	> 20
Ensayo Cántabro	% Pérdida por Desgaste en Seco	< 25
	% Pérdida por Desgaste en Húmedo	< 40
	Permeabilidad, seg.	< 15
Contenido mínimo de asfalto sin emplear fibras		4.5
Contenido mínimo de asfalto cuando se utiliza fibras		5.5
Contenido mínimo de fibras en caso de utilizarse		0.5

## ANEXO 2

### CURVA REOLÓGICA (MEXPHALTE PM TIPO II)



La curva reológica permite explicar el comportamiento viscoelástico de los asfaltos, en función de la variación de la temperatura. La viscosidad, se mide por medio del tiempo que demora en fluir una muestra de asfalto a través de un orificio calibrado.

Para determinar la curva se realizan pruebas de viscosidad a diferentes temperaturas con el fin de obtener las temperaturas límites de mezcla y compactación, para éste caso se observa que los límites de compactación y mezcla están entre 152 a 158 °C y 162 a 168 ° respectivamente.



### ANEXO 3

#### REQUISITOS DE LOS MATERIALES

<b>AGREGADO GRUESO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
Caras fracturadas, %	> 75
Partículas planas y/o alargadas, %	< 8
Coeficiente de desgaste, %	< 25
Durabilidad por ataque con sulfato de sodio, %	< 10
Ensayo de adherencia, %	> 95
<b>AGREGADO FINO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
Equivalente de arena, %	> 50
Plasticidad, %	< 4