



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

**COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO FILLER PROCESADO O AGREGADO MINERAL (POLVO DE ROCA) Y EL FILLER NATURAL (LIMO NO PLÁSTICO), APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA CAPA DE RODADURA DE ¾"**

**Raúl Naaman Ara Donis**

Asesorado por el Ing. Julio David Galicia Celada

Guatemala, septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO FILLER PROCESADO O AGREGADO MINERAL (POLVO DE ROCA) Y EL FILLER NATURAL (LIMO NO PLÁSTICO), APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA CAPA DE RODADURA DE ¾"**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**RAÚL NAAMAN ARA DONIS**

ASESORADO POR EL ING. JULIO DAVID GALICIA CELADA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

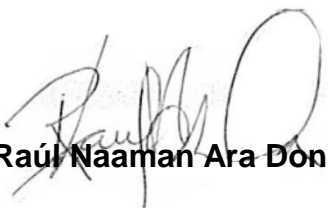
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO FILLER PROCESADO O AGREGADO MINERAL (POLVO DE ROCA) Y EL FILLER NATURAL (LIMO NO PLÁSTICO), APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA CAPA DE RODADURA DE ¾"**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 12 mayo de 2010.



**Raúl Naaman Ara Donis**

Guatemala 23 de abril de 2015

Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero  
Coordinador del Área de Materiales de Construcción  
Facultad de Ingeniería, USAC  
Presente

Estimado Ing. Guillermo Melini

Por este medio atentamente le informo que como Asesor del estudiante universitario de la carrera de Ingeniería civil, **RAUL NAAMAN ARA DONIS, carnet No. 199911231**, procedí a revisar el trabajo de graduación, cuyo título es **"COMPARACION DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO FILLER PROCESADO O AGREGADO MINERAL (POLVO DE ROCA) Y EL FILLER NATURAL (LIMO NO PLÁSTICO), APLICANDO EL METODO MARSHALL PARA CAPA DE RODADURA DE ¾"**.

Cabe mencionar que este trabajo, constituye un valioso aporte a la sociedad Guatemalteca, ya que el diseño de mezcla asfáltica beneficia a los usuarios de las carreteras del país.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente



Ing. Julio David Galicia Celada  
Asesor

*Ing. Julio David Galicia Celada*  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO No. 915



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
27 de julio de 2015

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos


Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO FILLER PROCESADO O AGREGADO MINERAL (POLVO DE ROCA) Y EL FILLER NATURAL (LIMO NO PLÁSTICO), APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA CAPA DE RODADURA DE 3/4"**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Raul Naaman Ara Donis, quien contó con la asesoría del Ing. Julio David Galicia Celada.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua  
/bbdeb.





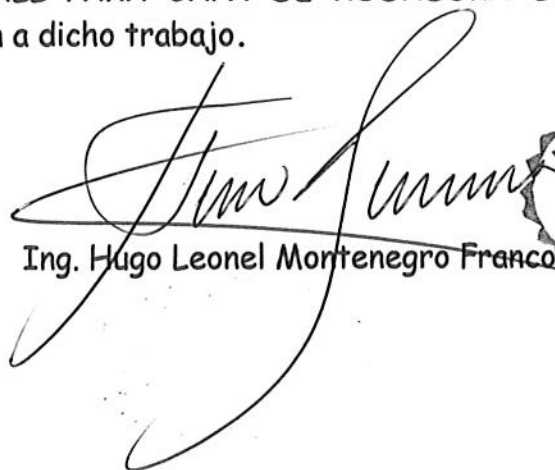
**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Julio David Galicia Celada y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Raúl Naaman Ara Donis, titulado **COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE UTILIZANDO FILLER PROCESADO O AGREGADO MINERAL (POLVO DE ROCA) Y EL FILLER NATURAL (LIMO NO PLÁSTICO), APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA CAPA DE RODADURA DE 3/4** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre 2015

/bbdeb.

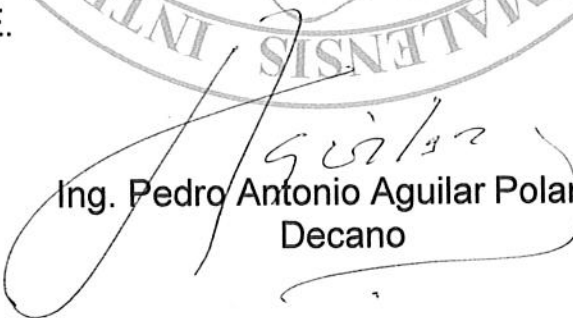
Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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: **COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO FILLER PROCESADO O AGREGADO MINERAL (POLVO DE ROCA) Y EL FILLER NATURAL (LIMO NO PLÁSTICO), APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA CAPA DE RODADURA DE 3/4"**, presentado por el estudiante universitario: **Raúl Naaman Ara Donis**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, septiembre de 2015

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Jehová Dios**  
**Todopoderoso**

Por ser un Padre amoroso y misericordioso conmigo, por ayudarme con inteligencia y sabiduría.

**Mis padres**

Ing. Telésforo Ara Arriola e Inga. Sephora Eunice Donis Gómez de Ara, por brindar su amor en los momentos más difíciles.

**Mis hermanos**

Ing. Iván Abisai, Elida Eunice Ara Donis y Carlos Roberto Pérez Tuy, por apoyarme en todo momento.

**Mi hija**

Sephora Eunice Ara Guerra, por el apoyo brindado y su cariño.

## **AGRADECIMENTOS A:**

**Jehová Dios  
Todopoderoso**

Por todas las bendiciones y haberme permitido culminar la carrera.

**Mis padres**

Por todo el esfuerzo que han hecho por mí y el amor recibido durante todos estos años.

**Facultad de  
Ingeniería**

Por hacer realidad mis ilusiones, y exigirme al máximo para llegar a ser un profesional.

**Mis amigos y  
compañeros**

Por los buenos tiempos compartidos en la universidad y el apoyo recibido durante toda la carrera.

**Ing. Julio David  
Galicia Celada**

Por su asesoría para la elaboración de este trabajo de graduación.

**Universidad de  
San Carlos de  
Guatemala**

Por ser mi casa de estudio.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. PAVIMENTOS.....	1
1.1. Definición.....	1
1.2. Tipos de capas .....	1
1.2.1. Capa de rodadura.....	1
1.2.2. Capa base .....	2
1.2.3. Capa subbase.....	2
1.3. Parámetros de diseño.....	2
1.4. Tipos de pavimentos .....	3
1.4.1. Pavimentos rígidos .....	3
1.4.2. Pavimentos flexibles .....	4
1.5. Estructura del pavimento .....	5
1.5.1. Subrasante .....	5
1.5.2. Subbase .....	5
1.5.3. Base .....	6
1.5.4. Carpeta asfáltica.....	6
1.6. Características de los materiales para la estructura del pavimento .....	7

1.6.1.	Propiedades de subbases granulares para pavimentos flexibles .....	7
1.6.2.	Propiedades de bases granulares para pavimentos flexibles .....	8
1.7.	Procedimientos constructivos para la estructura de pavimentos.....	10
1.7.1.	Sondeos y muestreo .....	10
1.7.2.	Bancos de material.....	10
1.7.3.	Análisis de laboratorio .....	10
1.7.4.	Proyecto de pavimentos .....	11
1.7.5.	Procedimientos constructivos.....	12
2.	ENSAYOS DE AGREGADOS PARA PAVIMENTO .....	13
2.1.	Ensayo de abrasión por medio de la máquina de Los Ángeles ASTM C-131.....	13
2.2.	Índice de aplanamiento y alargamiento de agregados .....	18
2.3.	Porcentaje de caras fracturadas en los agregados ASTM D 5821-95 .....	23
2.4.	Equivalente de arenas y agregados finos ASTM D-2419.....	29
2.5.	Ensayo de durabilidad ASTM C-88 .....	40
3.	ENSAYOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	51
3.1.	Calidad de agregados para mezclas asfálticas en caliente .....	51
3.1.1.	Mineralogía.....	51
3.1.2.	Propiedades físicas de los agregados.....	53
3.2.	Asfaltos .....	55
3.2.1.	Refinamiento del asfalto .....	56
3.2.2.	Tipos de asfaltos y usos .....	59
3.2.2.1.	Cemento de asfaltos .....	59

3.2.2.2.	Emulsiones asfálticas .....	61
3.2.2.3.	Asfaltos diluidos o <i>cutback</i> .....	63
3.3.	Ensayo de adherencia de los ligantes bituminosos a los agregados gruesos ASTM D-1664 .....	68
3.4.	Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (procedimiento Riedel Weber) .....	74
3.5.	Destilación de asfaltos líquidos ASTM D-402.....	80
4.	MÉTODO MARSHALL PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS	
	ASTM D-1 559.....	87
4.1.	Referencias históricas .....	87
4.2.	Características de mezcla .....	87
4.3.	Fundamento teórico.....	89
4.4.	Objetivo .....	89
4.5.	Gravedad específica.....	90
4.5.1.	Gravedad específica seca aparente .....	92
4.5.2.	Gravedad específica seca Bulk (base seca).....	93
4.5.3.	Gravedad específica en agregados gruesos, ASTM C-127 .....	94
4.5.4.	Gravedad específica en agregados finos, ASTM C-128 .....	95
4.5.5.	Propiedades volumétricas de mezclas compactadas .....	97
4.5.6.	Gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas, ASTM D-1188.....	100
4.5.7.	Gravedad específica teórica máxima, ASTM D-2041 .....	101
4.5.8.	Ejemplo aplicativo .....	102

5.	METODO MARHALL PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS	
	ASTM D-1559 .....	117
5.1.	Granulometría .....	117
5.2.	Especificaciones y tolerancias .....	117
5.3.	Combinación de agregados .....	121
	5.3.1. Dosificación de los agregados por peso.....	121
	5.3.2. Dosificación por métodos gráficos.....	121
5.4.	Calidad.....	122
6.	PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS Y COMPACTACIÓN DE MUESTRAS .....	125
6.1.	Aplicación.....	125
6.2.	Equipos de laboratorio .....	125
6.3.	Procedimientos previos .....	130
	6.3.1. Paso A: evaluación de agregados.....	130
	6.3.2. Paso B: evaluación del cemento asfáltico .....	130
	6.3.3. Paso C: preparación de los especímenes Marshall.....	131
	6.3.4. Paso D: densidad y vacíos de los especímenes ...	137
	6.3.5. Paso E: estabilidad Marshall y ensayo de flujo .....	138
	6.3.6. Paso F: tabulación y gráfico de los resultados de ensayo.....	139
	6.3.7. Paso G: determinación del óptimo contenido de asfalto.....	140
	CONCLUSIONES.....	145
	RECOMENDACIONES .....	147
	BIBLIOGRAFÍA.....	149
	ANEXOS.....	151

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura del pavimento flexible .....	2
2.	Sección típica de un pavimento rígido.....	4
3.	Sección típica pavimento flexible .....	4
4.	Cilindro metálico para realizar cargas abrasivas para hacerle ensayo a la prueba de desgaste Los Ángeles.....	17
5.	Diferentes tamices y materiales retenidos.....	18
6.	Calibrador de espesores .....	19
7.	Calibrador de longitud .....	20
8.	Partículas aplanadas y alargadas .....	23
9.	Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada.....	25
10.	Partículas con una, dos o más caras fracturadas.....	28
11.	Muestras preparadas en solución de sulfato de sodio .....	49
12.	Fracciones de tres crudos .....	57
13.	Emulsiones asfálticas.....	62
14.	Equipo de destilación simple.....	81
15.	Equipo de destilación fraccionada.....	82
16.	Esquema de relaciones entre las diferentes gravedades específicos de una película de agregado.....	91
17.	Gravedad específica seca aparente.....	92
18.	Gravedad específica seca Bulk (base seca) .....	93
19.	Específicas Bulk, efectiva y aparente; vacíos de aire y contenido de asfalto efectivo en mezclas compactadas .....	98

20.	Representación de volúmenes en especímenes de mezclas compactadas .....	99
21.	Gravedad específica teórica máxima.....	101
22.	Máquina de estabilidad Marshall con anillo de carga.....	128
23.	Molde y collar de extensión del molde compactación y pedestal de compactación.....	129
24.	Para extraer la probeta compactada del molde se requiere el extractor de muestras de asfaltos .....	129
25.	Medición .....	142

## TABLAS

I.	Gradación exigida para subbase de pavimentos flexibles .....	8
II.	Gradación para bases granulares.....	9
III.	Peso de agregado y número de esferas para agregados gruesos hasta de 1 ½" (ensayo abrasión ASTM C-131).....	15
IV.	Peso de agregado y número de esferas para agregados gruesos de tamaños mayores a ¾" (ensayo de abrasión ASTM C-535) .....	15
V.	Muestra de pesos para el ensayo .....	26
VI.	Valor de equivalente de la arena, suelos y agregados finos D 2419 ....	31
VII.	Agregado fino .....	43
VIII.	Agregado grueso .....	45
IX.	Tamaño de agregado y tamiz empleado.....	46
X.	Ensayo de durabilidad con sulfato de sodio ASTM C-88 .....	48
XI.	Propiedades deseables de rocas.....	52
XII.	Tipos de crudos con su fuente .....	58
XIII.	Especificaciones para cementos asfálticos.....	64
XIV.	Especificaciones de calidad .....	65
XV.	Requisitos para emulsiones asfálticas aniónicas .....	65



XVI.	Requisitos para emulsiones asfálticas catiónicas.....	66
XVII.	Requisitos para <i>cutbacks</i> de curadorápido.....	66
XVIII.	Requisitos para <i>cutback</i> de curadomedio .....	67
XIX.	Especificaciones de calidad .....	67
XX.	Propiedades deseables de rocas .....	70
XXI.	Temperatura para mezcla del material bituminosos (ensayo de adherencia ASTMD-1664).....	72
XXII.	Cantidad de material bituminoso a incorporar.....	73
XXIII.	Método de ensayo y el material que emplea.....	74
XXIV.	Peso de Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> por litro de disolución .....	76
XXV.	Temperatura de mezcla según norma de ensayo .....	79
XXVI.	Temperatura y velocidad de destilación.....	83
XXVII.	Temperaturas de lectura a diferentes altitudes (°C).....	85
XXVIII.	Datos básicos para una muestra de mezcla asfáltica .....	103
XXIX.	Porcentaje en masa que pasa el tamiz designado (AASHTO T 27 y T 11) .....	119
XXX.	Requisitos de gradación para el polvo mineral.....	120
XXXI.	Uso de granulometría para agregados gruesos en USA.....	120
XXXII.	Tipo y grado del cemento asfáltico.....	122
XXXIII.	Método de diseño y valores límites .....	123
XXXIV.	Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VAM) .....	124
XXXV.	Criterio mezcla del método Marshall .....	142



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$G_{SSS}^b$	Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk.
IAP <sub>fi</sub>	Índice de aplanamiento de la fracción i, ensayada.
P <sub>i</sub>	Peso de las partículas que pasan por la ranura correspondiente.
W <sub>SSS</sub>	Peso del suelo saturado superficialmente seco.
W <sub>i</sub>	Peso inicial de esa fracción.
Q	Peso o cantidad de partículas cuestionables.
N	Peso o cantidad de partículas en la categoría de no fracturadas que no cumplen el criterio de fractura.
F	Peso o cantidad de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas.
P	Porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas.

<b>R (%)</b>	Residuo asfáltico.
<b>VD</b>	Volumen destilado a 360°.
<b>VPD°C</b>	Volumen destilado a la temperatura T°C.

## GLOSARIO

<b>Agregado</b>	Material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria o la roca triturada, usados para ser mezclados en diferentes tamaños.
<b>Agregado grueso</b>	Agregado retenido por el tamiz de 2,36 mm (#8).
<b>Agregado fino</b>	Agregado que pasa por el tamiz de 2,36 mm (#8).
<b>Compactación</b>	Es el proceso realizado generalmente por medios mecánicos que obliga a las partículas del suelo a ponerse más en contacto con otras, mediante la expulsión del aire de los poros, produciendo en el suelo cambios de volumen de importancia.
<b>Concreto asfáltico</b>	Mezcla que puede ser en caliente o en frío, bien controlada, de cemento asfáltico y agregado bien graduado, compactada muy bien, para formar una capa fuerte y uniforme.
<b>Cribas</b>	Son las encargadas de separar el material mal graduado, manteniendo los agregados con un tamaño adecuado.

<b>Asfalto</b>	Material cementante, viscoso de color negro, utilizado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras.
<b>Estabilidad</b>	Es la habilidad de una mezcla asfáltica de pavimentación capaz de resistir deformación bajo las cargas impuestas.
<b>Estructura de pavimentación</b>	Son las capas mezcladas de asfalto y agregado colocadas en la subrasante.
<b>Exudación</b>	Es el flujo de asfalto hacia arriba de un pavimento que da como resultado una película sobre la superficie.
<b>Flexibilidad</b>	Habilidad de un pavimento asfáltico para ajustarse en asentamientos sobre la colocación.
<b>Impermeabilidad</b>	Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y el agua.
<b>Malla</b>	Abertura cuadrada metálica constituida por barras tejidas con espacios entre sí, que dejan pasar el agregado previamente triturado.

<b>Penetración</b>	Consistencia del material bituminoso expresada como distancia en décimas de milímetros (0,1 mm) que una aguja patrón penetra verticalmente en una muestra de material, bajo condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura.
<b>Poise</b>	Es la unidad de centímetro-gramo-segundo de viscosidad absoluta, correspondiente al fluido en donde el esfuerzo de una dina por centímetro cuadrado es requerido para mantener una diferencia de velocidad sobre un segundo entre dos planos paralelos del fluido, orientados en la dirección del flujo y separados por una distancia de un centímetro.
<b>Stoke</b>	Unidad de viscosidad cinemática, igual a la de un fluido en poises dividida por la densidad del fluido en gramos, por centímetro cúbico.
<b>Subbase</b>	Capa de estructura sobre el pavimento asfáltico que se encuentra inmediatamente debajo de la capa base.
<b>Subrasante</b>	Suelo preparado para sostener una estructura o un sistema de pavimento.
<b>Vacíos</b>	Espacios vacíos en una mezcla compactada rodeados de partículas cubiertas de asfalto.

<b>Viscosidad</b>	Es una medida de la resistencia al flujo. Usado como método para medir la consistencia del asfalto.
<b>Viscosidad absoluta</b>	Método usado para medir la viscosidad, usando el poise como la unidad de medida.
<b>Volumen de vacíos</b>	Cantidad total de espacios vacíos en una mezcla compactada.



## RESUMEN

Los ensayos de los agregados representan la base para el análisis del diseño de las carpetas de rodadura de un pavimento. A través del presente trabajo de graduación se desarrolló la propuesta de una metodología para la comparación del diseño de mezcla asfáltica en caliente, utilizando Filler procesado o agregado mineral y el Filler natural, aplicando el método de Marshall para capa de rodadura de  $\frac{3}{4}$ ".

Para adentrar al lector en el tema, se describen las características y conceptos de los diferentes tipos de pavimento. Posteriormente, se presentan los ensayos para mezclas asfálticas. Luego se da a conocer el método Marshall para el diseño de mezclas ASTM D-1559.

Por último se describe el procedimiento de análisis y compactación de muestras para llevar a cabo la comparación.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar y elaborar la mezcla asfáltica en caliente aplicando Filler procesado o agregado mineral y el Filler natural limo no plástico, por medio del método Marshall para capa de rodadura de  $\frac{3}{4}$ ".

### **Específicos**

1. Diseñar la mezcla asfáltica en caliente, comparando la utilización de Filler procesado o agregado mineral y el Filler natural limo no plástico.
2. Crear diseño, planeamiento, ejecución y supervisión de construcción de carreteras.
3. Utilizar las normas que rigen el método Marshall, para el correcto diseño de la mezcla asfáltica en caliente.



## INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo se enfocará en especificar las consideraciones básicas, para la correcta elaboración de la mezcla asfáltica en caliente, haciendo la comparación sobre la conveniencia de emplear Filler procesado o agregado mineral (polvo de roca) y el Filler natural (limo no plástico), aplicando el método Marshall. El tamaño del agregado pétreo para las mezclas de rodamiento puede variar dependiendo del tipo de tránsito que circule por ella, utilizando como base el método Marshall.

Al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica, dentro de estos es de las proporciones del asfalto y de los componentes del agregado pétreo, es decir, parámetros de la mezcla asfáltica. Los parámetros de la mezcla asfáltica que debe cumplir, según el método Marshall son: (VA) vacíos de aire en la mezcla asfáltica; (VAM) vacíos en el agregado mineral; (VRA) vacíos rellenos con asfalto; (% CA) contenido de cemento asfalto; (E) estabilidad en la mezcla; (F) flujo; (E/F) relación estabilidad – flujo. Estos parámetros deben cumplirse en los diseños Marshall para capa de rodadura con diámetro nominal de  $\frac{3}{4}$ ".

En este trabajo de graduación encontrará la diferencia al utilizar dentro de los agregados pétreos el Filler procesado (mineral) y el Filler natural (limo no plástico) y así hacer las recomendaciones necesarias o adecuadas para la elaboración o diseño de la mezcla asfáltica en caliente, utilizando normas y parámetros adecuados, para que las carreteras en Guatemala sean más durables y se aprovechen mejor los recursos del país.



# **1. PAVIMENTOS**

## **1.1. Definición**

Se le llama pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las emiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando así una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Para los pavimentos flexibles se observan tres capas: subbase, base y capa de rodadura.

## **1.2. Tipos de capas**

Generalmente un pavimento está formado por diferentes capas, espesores y calidades, con funciones principales de proteger, soportar y distribuir cargas sobre todo el terreno.

### **1.2.1. Capa de rodadura**

En los pavimentos flexibles, está construida por la mezcla asfáltica, su función primordial es proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar posibles filtraciones de agua provocada por la lluvia que podrían saturar total o parcialmente las capas inferiores de rodadura, transmite la carga que recibe a la capa inmediata inferior (ver figura 1).

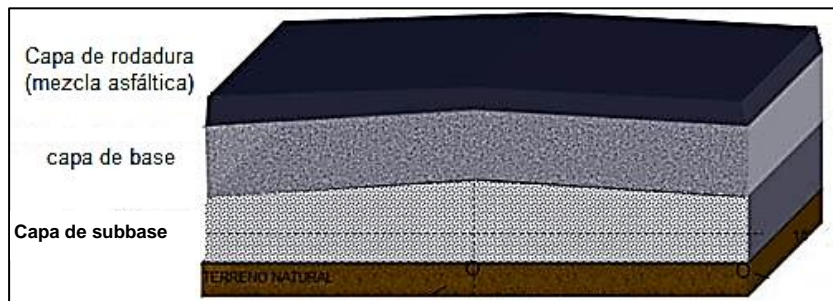
### 1.2.2. Capa base

Está situada debajo de la capa de rodadura, está constituida normalmente por arenas, gravas y piedras molidas, que pueden ser previamente tratados con diversos agentes estabilizantes, como asfalto, cal o cemento. Su función principal es soportar cargas transmitidas por la capa superior y distribuirlas convenientemente hacia la capa siguiente, (ver figura1).

### 1.2.3. Capa subbase

Es la última capa que está formada por materiales de inferior calidad y costo, que pueden ser tratados con agentes estabilizantes para cumplir con la finalidad de distribuir cargas sobre el terreno (ver figura 1).

Figura 1. Estructura del pavimento flexible



Fuente: elaboración propia.

### 1.3. Parámetros de diseño

La estructura del pavimento se diseña según las condiciones y especificaciones del lugar, los principales parámetros, utilizando métodos racionales son:



- Número de ejes o vehículos que pasan por la vía.
- Módulos elásticos de las capas que forman el pavimento.
- Temperatura del proyecto.
- Espesores de las capas.
- Para el caso de un pavimento rígido ver página 4, el cual no posee todas las capas y donde la capa de rodadura es construida de concreto hidráulico, que por lo general se colocada en placas, se diseña también con un tráfico específico, con la diferencia que este pavimento puede fallar con sólo una repetición de carga.

#### **1.4. Tipos de pavimentos**

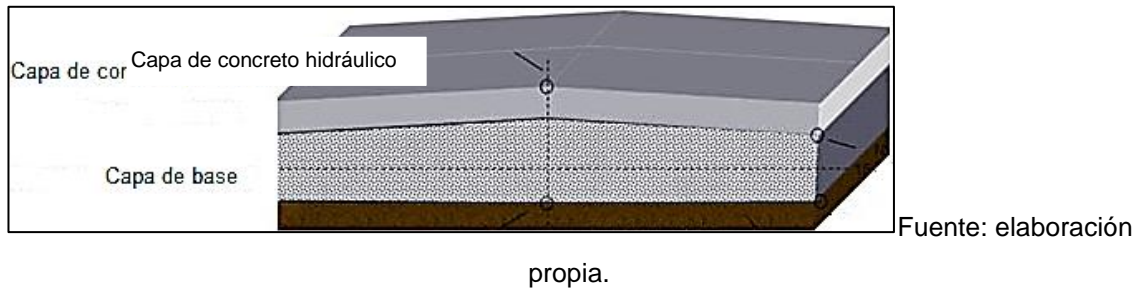
En carreteras básicamente existen dos pavimentos principales que son los más utilizados en el medio, estos son los pavimentos flexibles y los rígidos, asimismo están los tipos de pavimento como los adoquines y empedrados fraguados.

##### **1.4.1. Pavimentos rígidos**

Son aquellos que fundamentalmente están contruidos por una losa de concreto hidráulico, apoyado sobre una base o capa de material seleccionado bien graduado, el cual se denomina base del pavimento rígido (véase figura 2).

En general tienen un costo inicial más elevado que los pavimentos flexibles, el mantenimiento que requiere es mínimo. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia del diseño del espesor del pavimento.

Figura 2. **Sección típica de un pavimento rígido**

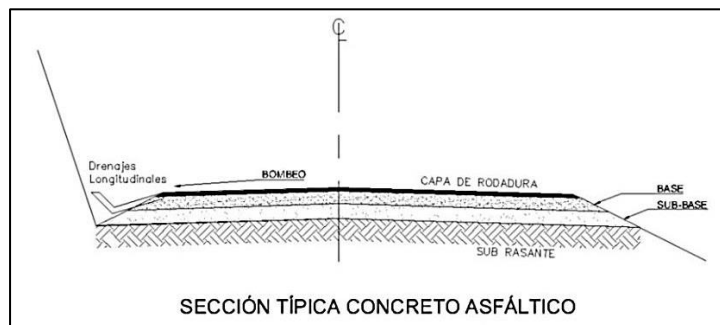


### 1.4.2. Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimento está formado por una carpeta bituminosa o asfalto, son llamados flexibles por la simple razón que la estructura que lo forma se pandea o se deflecta, debido a las cargas impuestas por el tráfico recurrente.

Usualmente resulta ser más económico en su construcción inicial, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil (ver figura 3).

Figura 3. **Sección típica pavimento flexible**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

## **1.5. Estructura del pavimento**

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados adecuadamente compactados.

Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras, las cuales resisten y transmiten adecuadamente las cargas del tránsito durante el periodo que fue diseñada la estructura del pavimento.

### **1.5.1. Subrasante**

Es considerada la cimentación de la estructura; su función primordial es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación.

Las características con las que debe cumplir son:

- F máximo de 3 pulgadas.
- Expansión máxima del 5 %.
- Grado de compactación mínimo del 95 %.
- Espesor mínimo de 30 cm, para caminos de bajo tránsito y de 50 cm en caminos con un TPDA > d 2 000 vehículos.

### **1.5.2. Subbase**

Es la primera capa del pavimento y está constituida por un recubrimiento de material selecto o estabilizado, de un espesor compactado; según las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante pero en

ningún caso menor de 10 cm ni mayor de 70 cm, las principales funciones de la subbase son:

- Transmitir y distribuir las cargas provenientes de la base.
- Servir de material transición entre la terracería y la base, así también como elemento aislador; previniendo la contaminación de la base del lugar que contenga materiales muy plásticos.
- Romper la capilaridad de la terracería y drenar el agua proveniente de la base, hacia las cunetas.

### **1.5.3. Base**

Es la capa de material selecto que se coloca encima de la subbase, cuyo espesor no debe ser mayor de 35 cm, ni menor de 10 cm dentro de sus principales funciones y características están las siguientes:

- Transmitir y distribuir las cargas provenientes de la superficie de rodadura.
- Servir de material de transición entre la subrasante y la de rodadura.
- Drenar el agua que se filtre a través de los hombros hacia las cunetas.
- Ser resistente a los cambios de temperatura, humedad y desintegración por abrasión producida por el tránsito.

### **1.5.4. Carpeta asfáltica**

Es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos y se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos.

Los materiales pétreos para construir carpetas asfálticas son suelos inertes, provenientes de ríos, los cuales por lo general requieren ser triturados para utilizarse.

Las características más importantes que deben tener a satisfacción los materiales pétreos son las siguientes:

- Diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada.
- Dureza para soportar ensayos sobre desgaste de Los Ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad.
- La forma de partículas debe cumplir con los requisitos de la granulometría especificada, tratando de eliminar las partículas alargadas o en forma de agujas.

## **1.6. Características de los materiales para la estructura del pavimento**

Los materiales para subbase y base deben ser pétreos, procedentes de canteras o depósitos aluviales, compuestos por fragmentos de piedra o grava, compactados y durables, con llenante de arena u otro material mineral finamente dividido, libres de terrones de arcilla, materiales vegetales u otros elementos objetables.

### **1.6.1. Propiedades de subbases granulares para pavimentos flexibles**

- Granulometría: teniendo en cuenta que no se requiere que el material de subbase granular posea una estabilidad muy elevada, se acepta una amplitud en la curva granulométrica aceptable (ver tabla I).

- La fracción fina debe tener un límite líquido no mayor de 25 y un índice plástico no superior a 6.
- El equivalente de arena debe ser como mínimo 25 %.
- El desgaste máximo admisible del material al ser ensayado en la máquina de Los Ángeles es del 50 %.
- La capa debe compactarse en el terreno, por lo menos al 95 % de la densidad máxima del proctor modificado (I.N.V. E-142, AASHTO T 180, ASTM D 1557). Para esta densidad el material debe presentar un CBR de 20, 30 o 40 % mínimo.

Tabla I. **Gradación exigida para subbase de pavimentos flexibles**

<b>GRADACIÓN EXIGIDA PARA SUBBASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES</b>		
Tamiz		Porcentaje que pasa
Normal	Alterado	
50 mm	2"	100
37,5 mm	1 ½"	70-100
25 mm	1"	60-100
12,5 mm	½"	50-90
9,5 mm	3/8"	40-80
4,75 mm	Núm.4	30-70
2,0 mm	Núm. 10	20-55
425 µm	Núm. 40	10-40
75 µm	Núm. 200	4-20

Fuente: elaboración propia.

### **1.6.2. Propiedades de bases granulares para pavimentos flexibles**

La base granular es estructuralmente la capa más importante en un pavimento flexible, por esta razón, sus materiales constructivos deben ser de muy alta calidad. Los requisitos más importantes que se exigen a dichos materiales son:

- La fracción gruesa debe ser producto de trituración mecánica. Siendo la exigencia usual en nuestro medio que al menos la mitad de las partículas mayores a 4,76 mm presenten una cara fracturada mecánicamente.
- El material debe encajar dentro de una franja granulométrica que permita obtener una alta densidad. En la tabla II se presenta una de las más usuales en la construcción de carreteras.
- El límite líquido de la fracción que pasa el tamiz de 0,425 mm no puede ser mayor de 25, el índice plástico admisible debe ser  $\leq$  al 3 %.
- El desgaste de material en la máquina de Los Ángeles no puede superar el 40 %.
- Las pérdidas de peso en el ensayo de solidez en sulfato de sodio deben ser inferiores al 12 y 18 %, sí el ensayo se hace en sulfato de magnesio.
- El equivalente de arena mínimo aceptable es el 30 %.
- El nivel de compactación en el terreno de esta capa debe ser por lo menos igual a la máxima del ensayo del proctor modificado (I.N.V. E-142, AASHTO T 180, ASTM D 1557). Para dicha densidad el CBR del material debe ser cuando menos el 80 %.

Tabla II. **Gradación para bases granulares**

GRADACIÓN PARA BASES GRANULARES			
Tamiz (mm)		Porcentaje que pasa	
		A	B
37,5 mm	1 ½"	100	-
25,00 mm	1"	70-100	100
19,0 mm	¾"	60-90	70-100
9,5 mm	3/8"	45-75	50-80
4,75 mm	Núm. 4	30-60	35-65
2,0 mm	Núm. 10	20-15	20-45
425 µm	Núm. 40	10-30	10-30
75 µm	Núm. 200	5-15	5-15

Fuente: elaboración propia.

## **1.7. Procedimientos constructivos para la estructura de pavimentos**

Para la construcción de la estructura de pavimentos es muy importante llevar a cabo sondeos, muestreos, bancos de materiales y análisis de laboratorio para poder transmitir y ejercer una mejor función.

### **1.7.1. Sondeos y muestreo**

Para la pavimentación de las terracerías se practican calicatas a 1,5 metros de profundidad espaciados 100 metros aproximadamente. En el caso de vialidades menores de 1 km de longitud, se realizarán dos sondeos en cada tramo, obteniendo la geología de cada pozo.

### **1.7.2. Bancos de material**

Se evalúan los bancos de materiales necesarios y en cantidad suficiente para la construcción del pavimento, seleccionando los bancos de material para la subrasante, base y subbase y materiales pétreos para la elaboración de la capa de rodadura.

### **1.7.3. Análisis de laboratorio**

A los materiales provenientes del terreno natural y las muestras de los bancos propuestos para la capa subrasante, base y subbase es necesario que se les practiquen los análisis de laboratorio como:

- Descripción y clasificación (SUCS, ASTM D 2487).
- Humedad natural, granulometría o porcentaje de finos, indicando el tamaño máximo del agregado.



- Límites de plasticidad (líquido y plástico).
- Valor relativo de soporte (VRS) estándar y modificado con medición de expansión.

Las muestras provenientes de los bancos propuestos para elaboración de carpeta asfáltica e imprimación, serán sometidas a los siguientes ensayos:

- Descripción y clasificación (SUCS, ASTM D 2487).
- Granulometría, indicando el tamaño máximo del agregado, contracción lineal, equivalente de arena, desgaste Los Ángeles, forma de las partículas y afinidad con el asfalto.

#### **1.7.4. Proyecto de pavimentos**

Con toda la información generada y posteriormente analizada de los trabajos de campo, laboratorio y bancos de material, se determinarán las características básicas de los materiales que serán empleados en el proyecto. Con toda la información geotécnica y con datos de composición vehicular, tránsito diario promedio anual inicial, tasa de crecimiento vehicular anual y vida útil del pavimento, se realiza el proyecto definitivo del diseño de los pavimentos.

Los métodos que se consideran para experimentar el dimensionamiento de la estructura de un pavimento para su verificación suelen clasificarse en tres grupos:

- Métodos totalmente empíricos: en los que generalmente se emplean factores de seguridad muy altos, lo que trae consigo que se obtengan espesores excesivos que no responden a las verdaderas necesidades de la vía en estudio.

- Métodos semiempíricos: basados en ensayos arbitrarios de laboratorio correlacionados con teorías más o menos razonables. Entre estos se encuentran todos los basados en el ensayo CBR, el método de Hveem y el de Texas.
- Métodos racionales: basados en consideraciones teóricas sobre distribución de esfuerzos y deformaciones. Entre estos se encuentran el de Navy, Shell e Instituto del Asfalto.

#### **1.7.5. Procedimientos constructivos**

Para cada tipo de solución diferente, se elaboran las especificaciones de construcción de cada capa del pavimento, estableciendo las normas de calidad que deben cumplir los materiales.

Los materiales utilizados, sus características de calidad y sus procedimientos de ejecución, se deberán apegar a las normas para la construcción e instalaciones, y a las normas de calidad de los materiales de las especificaciones técnicas y especiales para la construcción de carreteras y puentes, (Libro Azul, de la Dirección General de Caminos, República de Guatemala, edición septiembre, 2001).

## **2. ENSAYOS DE AGREGADOS PARA PAVIMENTO**

### **2.1. Ensayo de abrasión por medio de la máquina de Los Ángeles ASTM C-131**

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación y sobre todo, durante la vida de servicio del pavimento.

Debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta, como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante.

Por esta razón los agregados que están cerca de la superficie, como los materiales de base y carpeta asfáltica, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores y la subbase, de la estructura del pavimento; la razón se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de cargas del tránsito.

Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas. El ensayo sobre desgaste de la máquina Los Ángeles, ASTM C-131 o AASHTOT-96 y ASTM C-535, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y a la abrasión.

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje sobre el desgaste que sufren los agregados de tamaños menores a 37,5 mm (1½”) y agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (¾”), por medio de la máquina de Los Ángeles.

#### Equipo de laboratorio

- Máquina de desgaste Los Ángeles.
- Tamices de los siguientes tamaños: 3”, 2½”, 2”, 1½”, 1”, ¾”, ½”, 3/8”, ¼”, núm. 4, núm. 8. Un tamiz núm. 12 para el cálculo del desgaste.
- Esferas de acero de 46,38 a 47,63 mm de diámetro y peso equivalente entre 390 a 445 gr.
- Horno capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- Balanza sensibilidad de 1,0 gr.

#### Material y carga abrasiva a utilizar:

La cantidad del material a ensayar con el número de esferas a incluir depende de la granulometría que corresponde al agregado grueso. En las tablas III y IV se muestra el método a emplear; así como la cantidad de material, el número de revoluciones y tiempo de rotación, para cada uno de ellos. La gradación que se use deberá ser representativa de la original, del material suministrado para la obra.

Tabla III. **Peso de agregado y número de esferas para agregados gruesos hasta de 1 ½" (ensayo abrasión ASTM-C131)**

MÉTODO		A	B	C	D
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz				
1 ½"	1"	1 250 ± 25			
1"	¾"	1 250 ± 25			
¾"	½"	1 250 ± 10			
½"	3/8"	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
3/8"	¼" Núm. 4		2 500 ± 10		
¼" Núm. 4	Núm. 8			2 500 ± 10	
				2 500 ± 10	
<b>PESO TOTAL</b>		<b>5 000 ± 10</b>	<b>5 000 ± 10</b>	<b>5 000 ± 10</b>	<b>5 000 ± 10</b>
Núm. de esferas		12	11	8	6
Núm. de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación (minutos)		15	15	15	15

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p.14.

Tabla IV. **Peso de agregado y número de esferas para agregados gruesos de tamaños mayores a ¾" (ensayo de abrasión ASTM-C535)**

MÉTODO		1	2	3
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL AUSAR (gr)		
Que pasa	Retenido			
3"		2 500 ± 50		
2 ½ "	2 ½ "	2 500 ± 50		
2"	2"	5 000 ± 50		
1 ½"	1 ½"		5 000 ± 50	
	1 "		5 000 ± 25	
1"	¾"			5 000 ± 25
				5 000 ± 25
<b>PESO TOTAL</b>		<b>10 000 ± 100</b>	<b>10 000 ± 75</b>	<b>10 000 ± 50</b>
Núm. de esferas		12	12	12
Núm. de revoluciones		1 000	1 000	1 000
Tiempo de rotación (minutos)		30	30	30

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 15.

## Procedimiento de ensayo

- El material deberá ser lavado y secado en horno a una temperatura constante de 105 – 110 °C, tamizadas según las mallas que se indican y mezcladas en las cantidades del método al que correspondan.
- Pesar la muestra con precisión de 1 gramo para el caso de agregados gruesos hasta de 1½” y 5 gramos para agregados gruesos de tamaños mayores a 3/4”.
- Introducir la muestra junto con la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles, cerrar la abertura del cilindro con su tapa, esta posee un empaque que impide la salida de polvo fijada por medio de pernos. Accionar la máquina, regulándose el número de revoluciones adecuado según el método.
- Finalizado el tiempo de rotación, se saca el agregado y se tamiza por la malla núm. 12.
- El material retenido en el tamiz núm. 12 se lava y seca en horno, a una temperatura constante entre 105 ° a 110 °C pesar la muestra con precisión de un gramo.

Cálculos: el resultado del ensayo se expresa en porcentaje de desgaste, calculándose como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra de ensayo con respecto al peso inicial.

$$\% \text{ desgaste} = \frac{P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} * 100$$

Observaciones:

- Si el material se encuentra libre de costras o polvo, no será necesario lavarlo antes y después del ensayo.
- Para agregados gruesos de tamaños mayores a  $\frac{3}{4}$ " se puede determinar la pérdida después de 200 revoluciones. Al efectuar esta determinación no será necesario lavar el material retenido en el tamiz núm. 12. La relación de pérdida después de 200 revoluciones con la pérdida después de 1 000 revoluciones, no debería exceder más del 20 % para materiales de dureza uniforme. Cuando se realice este paso se evitará perder todo tipo de material, incluido el polvo, porque este será devuelto a la máquina para concluir con el ensayo.

Figura 4. **Cilindro metálico para realizar cargas abrasivas para hacerle ensayo a la prueba de desgaste Los Ángeles**



Fuente: MINAYA GONZÁLES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 17.

Figura 5. **Diferentes tamices y materiales retenidos**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 19.

## 2.2. Índice de aplanamiento y alargamiento de agregados

Las partículas planas y alargadas son definidas respectivamente, como aquellas partículas cuya dimensión última es menor que 0,6 veces su dimensión promedio y aquellas que son mayores a 1,8 veces de la dimensión promedio. Para el propósito de esta prueba, la dimensión promedio se define como el tamaño medio entre las dos aberturas 1" a  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{3}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{8}$ ", entre los agregados que son retenidos al ser tamizados.

Después de haber sido tamizados por la malla de abertura cuadrada y de dos mallas, respectivamente, las partículas planas y alargadas se separan usando como patrón los aparatos que se muestran en las figuras 6 y 7; las partículas planas pueden ser separadas rápidamente pasándolas por cribas con ranuras, pero en este caso, se necesita un tipo de criba para cada tamaño. El porcentaje por peso de las partículas planas y alargadas se designa con el nombre índice de aplanamiento e índice de alargamiento.



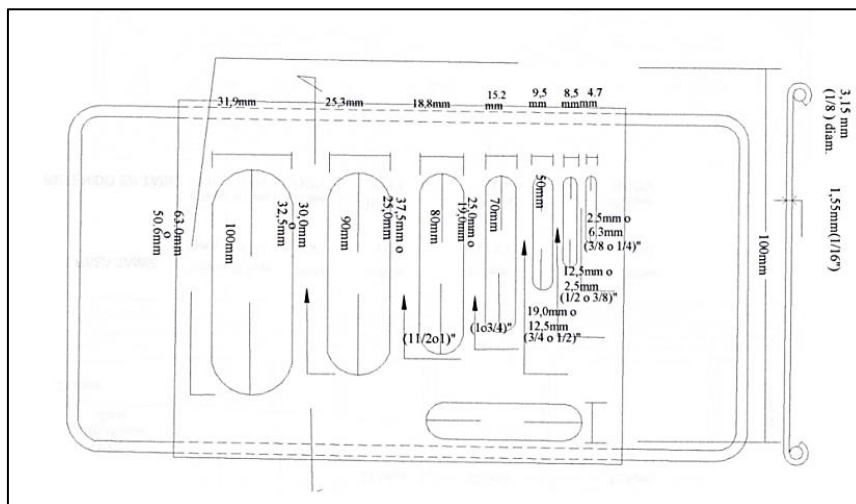
Equipos:

- Calibrador de aplanamiento y alargamiento
- Tamices 2 ½; 2, 1 ½, 1, ¾; ½; ⅜; ¼ pulgadas
- Bandejas
- Cuarteador
- Balanza
- Sensibilidad de 0,1 % el peso de la muestra que se ensaya

Preparación de la muestra:

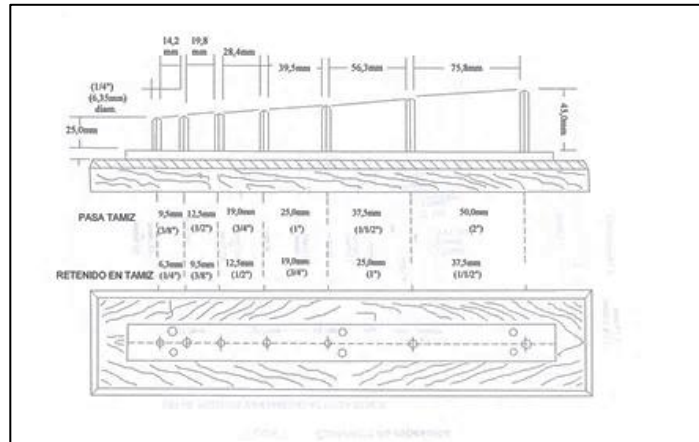
- Separar por cuarteo una muestra representativa.
- Tamizar por las mallas indicadas y determinar el peso retenido entre dos mallas consecutivas.  $W_i$ .
- Separar el material retenido en cada malla para ser ensayado.

Figura 6. Calibrador de espesores



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 23.

Figura 7. **Calibrador de longitud**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 24.

Nota: si el porcentaje retenido entre dos mallas consecutivas es inferior al 5 %, no será ensayado.

Si el porcentaje retenido entre dos mallas consecutivas está entre el 5 % y 15 %, se separarán dichas mallas un mínimo de cien partículas. Determinar su peso con aproximación al 0,1 %.

Si el porcentaje retenido entre dos mallas consecutivas es mayor al 15 %, se separarán un mínimo de 200 partículas. Determinar su peso con aproximación al 0,1 %.

Procedimiento de ensayo:

- Cada una de las muestras separadas se hace pasar por el calibrador de espesores en la ranura, cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya.

- Pesar la cantidad de partículas de cada fracción, que pasaron por la ranura correspondiente, aproximación al 0,1 % del peso total de la muestra de ensayo.  $P_i$
- Cada una de las muestras separadas se hace pasar por el calibrador de longitud, por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya.
- Pesar la cantidad de partículas de cada fracción, retenida entre las dos barras correspondientes, aproximación al 0,1 % del peso total de la muestra de ensayo.  $R_i$

Cálculos:

$$IAP_{fi}(\%) = \frac{P_i}{W_i} * 100$$

Donde:

$IAP_{fi}$  = índice de aplanamiento de la fracción  $i$ , ensayada

$P_i$  = peso de las partículas que pasan por la ranura correspondiente

$W_i$  = peso inicial de esa fracción

Índice de alargamiento:

$$IAL_{fi} (\%) = \frac{R_i}{W_i} * 100$$

Donde:

$W_i IAL_{fi}$  = índice de alargamiento de la fracción  $i$ , ensayada

$R_i$ = peso de las partículas retenidas entre las correspondientes barras

$W_i$ = peso inicial de esa fracción

Para ambos índices se deberán redondear los resultados al entero más próximo.

Informe:

- Los índices se pueden expresar para cada fracción ensayada, de la manera que se explica en el cálculo.
- Además los índices pueden ser expresados en función del total de la muestra; se calcula el promedio ponderado de los respectivos índices de todas las fracciones ensayadas, empleando como factores de ponderación los porcentajes retenidos,  $R_i$ , e indicando la granulometría de la muestra.

Aplicar las siguientes expresiones:

$$\text{Índice de aplanamiento} = \frac{\sum(IAP_{fi} * R_i)}{\sum R_i}$$

$$\text{Índice de alargamiento} = \frac{\sum(IAL_{fi} * R_i)}{\sum R_i}$$

Figura 8. **Partículas aplanadas y alargadas**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 27.

### **2.3. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados ASTM D 5821-95**

Algunas especificaciones técnicas contienen requisitos relacionados con el porcentaje de agregado grueso con caras fracturadas, con el propósito de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre las partículas. Otro propósito es dar estabilidad a los agregados empleados para carpeta o afirmado; y dar fricción y textura a agregados empleados en pavimentación.

La forma de la partícula de los agregados puede afectar la trabajabilidad durante su colocación; así como la cantidad de fuerza necesaria para compactarla a la densidad requerida y la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida de servicio.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que se entrelazan al ser compactadas. El mejor entrelazamiento se da, generalmente, con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre por trituración.

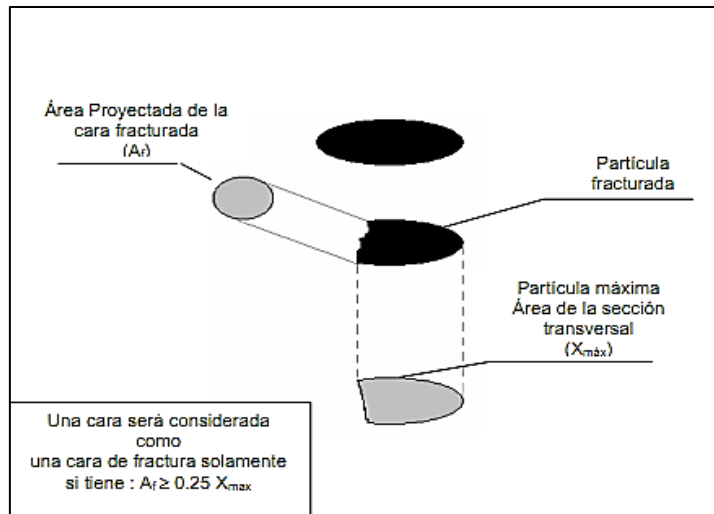
Este método describe la determinación del porcentaje, en peso, de una muestra de agregado grueso que presenta una, dos o más caras fracturadas.

La cara fracturada se refiere a una cara angular, lisa o superficie fracturada de una partícula de agregado formada por trituración, otros medios artificiales o por la naturaleza.

Una cara será considerada “fracturada” solamente si tiene un área mínima proyectada tan grande como un cuarto de la máxima área proyectada (máxima área de la sección transversal) de la partícula y la cara que tiene aristas bien definidas; esto excluye las pequeñas irregularidades.

Una partícula de agregado es fracturada si tiene el número mínimo de caras fracturadas especificadas (usualmente uno o dos).

Figura 9. **Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 29.

Equipos de laboratorio:

- Balanza de 5 kilogramos y sensibilidad al gramo.
- Tamices.
- Partidor de muestras.
- Espátula.
- Preparación de la muestra.
- Secar la muestra, cuartearla teniendo cuidado de obtener una masa representativa.
- La muestra para el ensayo tendrá una cantidad mayor a los pesos mostrados en la tabla V.

Tabla V. **Muestra de pesos para el ensayo**

Tabla	
Tamaño máximo nominal	Peso mínimo para el ensayo (gr)
3/8"	200
1/2"	500
3/4"	1 500
1"	3 000
1 1/2"	7 500
2"	15 000
2 1/2"	30 000
3"	60 000
3 1/2"	90 00

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 30.

- Tamizar el material grueso y fino completamente, por la malla núm. 4.
- Para muestras con tamaño máximo nominal mayor o igual a 3/4", donde el contenido de partículas fracturadas va a ser determinado por el material retenido en la malla núm. 4 o más pequeño, la muestra puede ser separada en la malla de 3/8", la fracción que pase la malla núm. 3/8" puede luego ser reducida, de acuerdo con ASTM C-702 hasta 200 gr. Esto reducirá el número de partículas que serán separadas durante el procedimiento. En este caso, el porcentaje de partículas fracturadas se determina sobre cada porción; y un porcentaje promedio ponderado de partículas fracturadas se calcula con base en la masa de cada una de las porciones para reflejar el porcentaje total de partículas fracturadas en toda la muestra.

Procedimiento:

- Lavar la muestra sobre la malla designada y remover cualquier fino. Secar.



- Determinar la masa de la muestra con una aproximación de 0,1 %.

Extender la muestra seca sobre una superficie plana, limpia y lo suficientemente grande como para permitir una inspección. Para verificar si la partícula alcanza o cumple el criterio de fractura, sostener el agregado de tal manera que la cara se avista directamente. Si la cara constituye al menos  $\frac{1}{4}$  de la máxima sección transversal, considerarla como cara fracturada.

Usando la espátula separar en tres categorías.

- Partículas fracturadas, dependiendo si la partícula tiene el número requerido de caras fracturadas.
- Partículas que no reúnen el criterio especificado.
- Partículas cuestionables.

Si el número requerido de caras fracturadas no se consigue en las especificaciones; la determinación será hecha sobre la base de un mínimo de una cara fracturada. Determinar el porcentaje en peso de cada una de las categorías. Si sobre cualquiera de los porcentajes más del 15 % del total es cuestionable, repetir la evaluación hasta que no más del 15 % se repita en esta categoría.

Reportan el porcentaje en peso del número de partículas con el número especificado de caras fracturadas, aproximado al uno por ciento, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$P = \left[ \frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N} \right] * 100$$

Donde:

- P = porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas.
- F = peso o cantidad de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas.
- Q = peso o cantidad de partículas cuestionables.
- N = peso o cantidad de partículas en la categoría de no fracturadas que no cumplen el criterio de fractura.
- Reportar el criterio de fractura especificada.
- Reportar el total de masa en gramos, del agregado ensayado.
- Reportar la malla en la cual la muestra de suelo fue retenida al iniciar el ensayo.
- Reportar si el porcentaje de caras fracturadas fue reportado por masa o cantidades.

Figura 10. **Partículas con una, dos o más caras fracturadas**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 32.

## **2.4. Equivalente de arenas y agregados finos ASTM D-2419**

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz Núm. 4(4,75 mm). El término “Equivalente de arena” transmite el concepto que la mayoría de los suelos granulares y agregados finos son mezcla de partículas gruesas, arenas y generalmente finos.

Para determinar el porcentaje en una muestra, se incorpora una medida de suelo y solución en una probeta plástica graduada que luego será para el recubrimiento de finos de las partículas de arena; después de un período de tiempo se pueden leer las alturas de arcilla y arena en la probeta. El equivalente de arena es la relación de la altura de arena respecto de la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

Este método proporciona de manera rápida de campo para determinar cambios en la calidad de agregados durante la producción o colocación.

### Equipos de laboratorio

- Tubo irrigador: acero inoxidable, cobre o bronce, de 6,35 mm de diámetro exterior, 508 mm de longitud, cuyo extremo inferior está cerrado en forma de cuña. Tiene dos agujeros laterales de 1 mm de diámetro en los dos planos de la cuña cerca de la punta.
- Sistema de sifón: se compone de un botellón de 1 galón (3,8lt) de capacidad con un tapón. El tapón tiene dos orificios que lo atraviesan, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El conjunto deberá ubicarse a 90 cm por encima de la mesa.

- Probeta graduada: con diámetro interior de  $31,75 \pm 0,381$  mm y 431,8 mm de altura graduada hasta una altura de 381 mm, provista de un tapón de caucho o goma que ajuste en la boca del cilindro.
- Tubo flexible: de caucho o goma con 4,7 mm de diámetro, tiene una pinza que permite cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo permite conectar el tubo irrigador con el sifón.
- Pisón de metal: consistente en una barra metálica de 457 mm de longitud que tiene enroscado en su extremo inferior un disco metálico de cara inferior plana, perpendicular al eje de la barra y cara superior de forma cónica. El disco lleva tres tornillos pequeños que sirven para centrarlo dentro del cilindro, y una sobrecarga en forma cilíndrica, de tal manera que el conjunto pese un kilogramo (barra metálica, disco y sobrecarga).
- Recipiente metálico: de estaño aproximadamente de 57 mm de diámetro con capacidad de  $85 \pm 5$  ml, borde superior uniforme, de modo que la muestra que se coloca en ella se pueda enrasar para conseguir el volumen requerido.
- Cronómetro o reloj: lecturas en minutos y segundos.
- Embudo de boca ancha para incorporar la muestra de ensayo en la probeta graduada.
- Tamiz: se utiliza el tamiz núm. 4 según especificaciones e 11.
- Recipiente para mezcla.
- Horno: capaz de mantener temperaturas de  $110 \pm 5$  °C.
- Papel filtro Watman núm. 2; equivalente.

Los materiales que forman parte del equipo de ensayo de equivalente de arena están descritos en la tabla VI:

Tabla VI. **Valor de equivalente de la arena, suelos y agregados finos D 2419**

Ensamblaje	Parte Núm	Descripción	Material
A		<b>Ensamblaje de sifón</b>	
	1	Tubo de sifón	Cobre, puede ser niquelado
	2	Manguera de sifón	Caucho, goma pura o equivalente
	3	Manguera de purga	Caucho, goma pura o equivalente
	4	Tubo de purga	Cobre, puede ser niquelado
	5	Tapón con dos agujeros Núm. 6	Caucho
	6	Tubo irrigador	
	7	Abrazadera	
B		<b>Probeta graduada</b>	
	8	Tubo	Acrílico transparente
	9	Base	Acrílico transparente
C		<b>Ensamblaje para lectura de arena</b>	
	10	Indicador para lectura de arena	Nylon 101 tipo 66 templado
	11	Barra	Bronce, puede ser niquelado
	12	Pesa	Acero, puede ser niquelado
	13	Pasador	Metal resistente a la corrosión
	14	Pie	Bronce
	15	Tapón sólido	Caucho, puede ser niquelado

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 34.

#### Procedimiento de ensayo:

- Reactivos, materiales y preparación de la solución madre
- Reactivos y materiales
- Cloruro de calcio anhidro, 454 gr. de glicerina
- USP, 2 050 gr (1 640 ml) formaldehido, (40 % en volumen) 47 gr (45 ml)

#### Preparación:

Disolver 454 gr. cloruro de calcio anhidro en 0,5 gal (1,9 lt) de agua destilada. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se pasa por papel de filtro. A la solución filtrada se le incorporan los 2 050 gr de glicerina y 47 gr. de formaldehido; mezclar bien.

- Reactivos, materiales y preparación de la solución de trabajo
- Solución madre
- Agua destilada

Preparación: diluir  $85 \pm 5$  ml al ras de la solución madre en 1 gal (3,8 lt) de agua destilada.

Preparación de la muestra: separar aproximadamente 1 500 gr de material que pase el tamiz núm. 4 (4,75 mm). Tener el cuidado de desmenuzar todos los terrones de material fino y limpiar cualquier cubierta de fino que se adhiera al agregado grueso, estos finos pueden ser removidos por secado superficial del agregado grueso y frotación entre las manos sobre un recipiente plano. Añádase este material a la porción fina de la muestra.

Para determinar la cantidad del material para el cuarteo:

- Si fuera necesario, humedecer el material para evitar segregación o pérdida de finos durante el cuarteo. Tener cuidado al adicionar agua a la muestra, para mantener una condición de flujo libre de material.
- Usando el recipiente metálico de  $85 \pm 5$  ml de capacidad, sacar cuatro medidas de muestra. Cada vez que se llene una medida golpear ligeramente la parte inferior del recipiente sobre una superficie dura, por lo menos cuatro veces.
- Registrar la cantidad de material contenido en las cuatro medidas ya sea por peso o volumen, de la probeta de plástico.
- Regresar el material a la muestra y proceder a separarla por cuarteo, haciendo los ajustes necesarios para obtener el peso o volumen predeterminado. De este cuarteo se debe obtener, la cantidad suficiente

de muestra para llenar la medida, y por lo tanto proporcione un espécimen de ensayo.

- Secar el espécimen de ensayo a peso constante de  $105 \pm 5$  °C y dejarlo enfriar a temperatura ambiente antes del ensayo.
- Los resultados de equivalente de arena en especímenes de prueba que no están bien secos, generalmente tendrán resultados bajos en especímenes idénticos que fueron secados.
- Manteniendo la condición de flujo libre, humedecer lo suficiente el material para evitar segregación o pérdida de finos durante el cuarteo.
- Separar por cuarteo entre 1 000 y 1 500 gr de material. Colocarlo en un recipiente y mezclar en forma circular hacia el centro, por un minuto, hasta obtener una mezcla uniforme.
- Verificar las condiciones de humedad del material apretando con la mano una porción de material, si se forma una masilla que permite abrir la mano sin romperse, la mezcla tiene el rango correcto de humedad.
- Si la muestra está muy seca se desmoronará, debiendo adicionar agua; volver a mezclar y probar si se formó la masilla plástica.
- Si la muestra está muy húmeda deberá secarse al aire, mezclándola frecuentemente para asegurar uniformidad y ensayándola nuevamente.
- Si la humedad inicial se encuentra dentro de los límites arriba descritos, la muestra se puede ensayar inmediatamente. Si la humedad es

diferente a los límites indicados, la muestra deberá ponerse en una vasija, cubriéndola con una toalla húmeda que no toque el material, por espacio de 15 min como mínimo.

- Después de transcurrido el tiempo mínimo, remezclar por un minuto sin agua, formando un cono con el material, utilizando una paleta.
- Tomar el recipiente metálico en una mano y presionar contra la base del cono mientras se sostiene a este con la mano libre.
- A medida que el recipiente atraviesa el cono mantener suficiente presión en la mano para que el material lo llene por completo. Presionar firmemente con la palma de la mano compactando el material hasta que este se consolide; el exceso debe ser retirado y desechado, enrasando con la paleta a nivel del borde del recipiente.

Preparación de aparatos:

- Ajustar el sifón a un botellón de 10 gal conteniendo la solución de trabajo de cloruro de calcio. Colocarlo en un anaquel ubicado a  $91 \pm 3$  cm sobre la mesa de trabajo.
- Soplar el sifón dentro del botellón con solución, por el tubo de purga y con la abrazadera abierta.

Procedimiento:

- Por el sifón verter  $102 \pm 3$  mm de solución de trabajo de cloruro de calcio, en la probeta.



- Con ayuda del embudo verter en la probeta,  $85 \pm 5 \text{ cm}^3$  del suelo preparado.
- Golpear la parte baja del cilindro varias veces con la palma de la mano para desalojar las posibles burbujas de aire y para humedecer completamente la muestra. Dejar reposar durante  $10 \pm 1$  minutos.
- Transcurridos los 10 minutos tapar la probeta con un tapón; soltar el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo a la vez. El material puede ser agitado con cualquiera de los siguientes métodos:

Método mecánico: colocar la probeta tapada en el agitador mecánico, y permitir que lo sacuda por  $45 \pm 1$  s.

Método del agitador manual:

- Ajustar la probeta tapada con las tres pinzas de resorte, sobre el soporte del agarrador manual y poner el contador en tiempo cero.
- Pararse frente al agitador y forzar el puntero sobre la marca límite pintada en el tablero, aplicando la fuerza horizontal sobre la biela resortada del lado derecho. Luego retirar la mano de la biela y dejar que la acción del resorte mueva el soporte y la probeta en la dirección opuesta, sin ayuda o impedimento alguno.
- Aplicar suficiente fuerza a la biela resortada, con la mano derecha, durante el recorrido con empuje para llevar el índice hasta la marca límite del émbolo, empujando la biela con la punta de los dedos para mantener un movimiento oscilatorio suave. El centro del límite de carrera está colocado para prever la longitud adecuada del movimiento

y su ancho se ajusta al máximo de variación permitida. La cantidad correcta de agitación se logra solamente cuando el extremo del índice invierte su dirección dentro de los límites marcados. Una correcta agitación puede mantenerse usando solamente el antebrazo y la muñeca para mantener el agitador.

- Continuar la agitación por 100 ciclos.

Método manual:

- Sujetar la probeta en posición horizontal y sacudirla vigorosamente de izquierda a derecha.
- Agitar el cilindro 90 ciclos en 30 segundos, usando un recorrido de  $23 \pm 3$  cm. Un ciclo se define como el movimiento completo a la derecha seguido por otro a la izquierda. El operador deberá mover solamente los antebrazos manteniendo el cuerpo y hombros relajados.
- Concluida la operación de agitación, colocar la probeta verticalmente sobre la mesa de trabajo y quitar el tapón.

Proceso de irrigación:

- El cilindro no deberá moverse de su posición vertical y con la base en contacto con la superficie de trabajo.
- Introducir el tubo irrigador en la parte superior de la probeta, soltar la abrazadera de la manguera y limpiar el material de las paredes de la probeta mientras el irrigador baja. El irrigador; debe llegar hasta el fondo, aplicando suavemente una presión y giro, mientras que la solución de trabajo fluye por la boca del irrigador; esto impulsa el material fino desde el fondo hacia arriba, poniéndolo sobre las partículas gruesas de arena.

- Cuando el nivel del líquido alcance la señal de los 38 cm, levantar el tubo irrigador despacio sin que deje de fluir la solución, de tal manera que el nivel se mantenga cerca de 38,0 cm mientras se saca el tubo. Regular el flujo justo antes que el tubo esté completamente fuera y ajustar el nivel final a los 38,0 cm.

Lectura de arcilla:

- Dejar reposar durante 20 min.± 15 s. Comenzar a medir el tiempo luego de retirar el tubo irrigador.
- Al término de los 20 minutos leer el nivel superior de la suspensión de arcilla. Este valor se denomina lectura de arcilla. Si la línea de marca no es clara transcurridos los 20 minutos del período de sedimentación, permitir que la muestra repose sin ser perturbada hasta que una lectura de arcilla pueda ser claramente obtenida.

Inmediatamente, leer y anotar el nivel máximo de la suspensión arcillosa y el tiempo total de sedimentación. Si el período total de sedimentación excede los 30 minutos efectuar nuevamente el ensayo, usando tres especímenes individuales de la misma muestra. Registrar la lectura de la columna de arcilla para la muestra que requiere el menor tiempo de sedimentación como lectura de arcilla.

Lectura de arena:

- Después de la lectura de arcilla, introducir en la probeta el ensamblaje del pie (conjunto del disco, varilla y sobrepeso) y bajar lentamente hasta que llegue sobre la arena. No permitir que el indicador golpee la boca de la probeta mientras se baja el conjunto.

- Cuando el conjunto toque la arena con uno de los tornillos de ensamblaje hacia la línea de graduación de la probeta, leer y anotar. Restar 25,4 cm. del nivel indicado en el borde superior del indicador y registrar este valor como la lectura de arena.
- Después de tomar la lectura de arena, tener cuidado de no presionar con el pie porque podría dar lecturas erróneas.
- Si las lecturas de arcilla y arena están entre 2,5 mm de graduación (0,1 pulgadas), registrar el nivel de graduación inmediatamente superior como lectura.

Calcular el equivalente de arena con aproximación a 0,1 % como sigue:

$$SE = \frac{\text{Lectura arena}}{\text{Lectura arcilla}} * 100$$

Donde:

SE= equivalente de arena expresado en porcentaje

Si el equivalente de arena calculado no es un número entero, considerar el entero inmediato superior. Por ejemplo, si el nivel de arcilla fue 8,0 y el nivel de arena fue 3,3, el equivalente de arena calculado será:

$$SE == \frac{3,3}{8,0} * 100$$

$$SE = 41,2$$

El valor de equivalente de arena calculado no es un número entero y será registrado como el número entero inmediato superior, que para el ejemplo es 42.

Si se desea el promedio de series de valores de equivalente de arena, promediar los valores redondeados determinados como se describe anteriormente. Si el promedio de estos valores no es un número entero, redondear al número entero inmediatamente superior, como se muestra en el siguiente ejemplo:

- Calcular el valor de equivalente de arena: 41,2; 43,8 y 40,9
- Después de redondear se tiene: 42, 44 y 41
- Determinar el promedio de estos valores de la siguiente manera:

$$SE = \frac{(42+44+41)}{3} = 42,3$$

El valor promedio no es un número entero, este se redondea al entero superior próximo, y el valor de equivalente de arena es 43.

Observaciones:

- La temperatura de la solución de trabajo se debe mantener a  $22 \pm 3$  °C durante el ensayo, si las condiciones de campo impiden tener este rango, las muestras deben ser ensayadas en el laboratorio donde el control de la temperatura es posible. También es posible elaborar curvas de corrección por temperatura para cada material a ser ensayado.

- Realizar el ensayo en un lugar libre de vibraciones. El exceso de estas puede causar que la relación entre el material suspendido y el sedimentado sea mayor.
- No exponer las probetas de plástico a la luz del sol, a no ser que sea necesario.
- Será necesario limpiar el crecimiento de hongos dentro del tubo de goma y del tubo irrigador, con un solvente limpio de hipocloruro de sodio (blanqueador doméstico de cloro) y agua en la misma cantidad.
- En ocasiones los agujeros de la punta del tubo irrigador se obstruyen con partículas de arena; estas deben liberarse con ayuda de una aguja u otro objeto similar que sea posible introducir sin incrementar el tamaño de la abertura.
- El recipiente de mezcla y almacenamiento para soluciones deberá estar limpio. No debe incorporarse una solución nueva a una solución antigua.
- Si las lecturas de arcilla y arena se encuentran entre líneas de graduación, se anotará la lectura correspondiente a la graduación inmediata superior.
- Si el valor de equivalente de arena en una muestra está por debajo de las especificaciones para dicho material, hacer dos ensayos adicionales en la misma muestra y tomar el promedio de los tres como el equivalente de arena.
- Para obtener el promedio de una serie de valores de equivalente de arena, promediar el número de valores enteros determinados.

## **2.5. Ensayo de durabilidad ASTM C-88**

Es el porcentaje de pérdida de material en una mezcla de agregados durante el ensayo de durabilidad de los áridos sometidos al ataque con sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Este ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climáticos durante la vida útil de la obra. Puede aplicarse tanto en agregado grueso como fino.

El ensayo se realiza exponiendo una muestra de agregado a ciclos alternativos de baño de inmersión en una solución de sulfato de sodio o magnesio y secado en horno. Una inmersión y un secado se consideran un ciclo de durabilidad. Durante la fase de secado, las sales precipitan en los vacíos del agregado. En la reinversión las sales se rehidratan y ejercen fuerzas de expansión internas que simulan las fuerzas de expansión del agua congelada. El resultado del ensayo es el porcentaje total de pérdida de peso sobre varios tamices para un número requerido de ciclos. Los valores máximos de pérdida son aproximadamente de 10 a 20 % para cinco ciclos de inmersión y secado.

El método describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados por la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio.

Equipos de laboratorio:

- Tamices: para ensayar agregado grueso 3 /8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2" y 2 1/2"; para ensayar agregado fino núm. 50, 30, 16, 8 y 4
- Recipientes: cestas de mallas metálicas que permiten sumergir las muestras en la solución utilizada, facilitando el flujo de la solución e impidiendo la salida de las partículas del agregado. El volumen de la solución en la cual se sumergen las muestras será, por lo menos, cinco veces el volumen de la muestra sumergida.

- Balanzas: capacidad de 500 gr. y sensibilidad de 0,1 gr. para el caso del agregado fino y otro de capacidad no menor a 5 000 gr., y sensibilidad de 1 gr. para el caso del agregado grueso.
  - Horno: capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- Preparación de las soluciones:

Solución de sulfato de sodio: si se va a emplear sulfato de sodio de forma anhidra ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), disolver 215 gr.; en caso de utilizar sulfato de sodio hidratado ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), disolver 700 gr. en un litro de agua a la temperatura de 25 a 30 °C. Dejar reposar la preparación por 48 horas a  $21 \pm 1$  °C, antes de su empleo.

Al concluir el período de reposo deberá tener un peso específico entre 1,151 y 1,174 gr/cm<sup>3</sup>.

La solución que presente impurezas debe filtrarse y volverse a comprobar su peso específico.

Nota: para conseguir la saturación a 22 °C de 1 decímetro cúbico de agua, son suficientes 215 gr. De la sal anhidra 700 gr. de la hidratada. No obstante, como estas sales no son completamente estables y puesto que es preferible que haya un exceso de cristales en la solución, se recomienda como mínimo, el empleo de 350 g de la sal anhidra y 750 g de la sal hidratada.

Solución de sulfato de magnesio: si se va emplear sulfato de magnesio de forma anhidra ( $\text{MgSO}_4$ ), disolver 350 gr.; en caso de utilizar sulfato de magnesio hidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), disolver 1 230 gr. en un litro de agua a la temperatura de 25 a 30 °C. Dejar reposar la preparación por 48 horas a  $21 \pm 1$  °C, antes de su empleo. Al concluir el período de reposo deberá tener un



peso específico entre 1 295 y 1 302 gr/cm<sup>3</sup>. La solución que presente impurezas debe filtrarse y volverse a comprobar su peso específico.

Nota: para conseguir la saturación a 22 ° de 1 decímetro cúbico de agua, son suficientes 350 gr. de la sal anhidra 01 230 gr. de la hidratada. No obstante, como estas sales no son completamente estables y puesto que es preferible que haya un exceso de cristales en la solución, se recomienda como mínimo, el empleo de 400 gr. de la sal anhidra y 1 400 gr. de la sal hidratada.

Reparación de las muestras:

Agregado fino: la muestra deberá pasar el tamiz 3/8" y ser retenido en la malla núm. 50.

Cada fracción de la muestra comprendida entre los tamices que se indican a continuación debe ser por lo menos de 100 gramos. Se consideran solamente las fracciones que están contenidas en 5 % o más de los tamices indicados:

Tabla VII. **Agregado fino**

<b>Pasa</b>	<b>Retiene</b>
3/8"	Núm. 4
Núm. 4	Núm. 8
Núm. 8	Núm. 16
Núm. 16	Núm. 30
Núm. 30	Núm. 50

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p.51.

Lavar la muestra sobre la malla núm. 50, secarlas en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, separarlos en los diferentes tamices especificados anteriormente. Tomar 120 gr. de cada una de las fracciones, para obtener 100 gr. después del tamizado; colocarlas por separado en los recipientes para ensayo.

Agregado:

Grueso: se ensayará el material retenido en el tamiz núm. 4, cada fracción de la muestra comprendida entre los tamices debe tener el peso indicado en la tabla 8; y cada fracción de la muestra debe ser por lo menos 5 % del peso total de la misma.

En el caso que alguna de las fracciones contenga menos del 5 %, no se ensayará esta fracción, pero para el cálculo de los resultados del ensayo se considerará que tienen la misma pérdida a la acción de los sulfatos, de sodio o magnesio, que la media de las fracciones, inferior y superior más próximas, o bien si una de estas fracciones falta, se considerará que tiene la misma pérdida que la fracción inferior o superior que esté presente.

Lavar la muestra y secarla a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Tamizarlo usando una de las gradaciones indicadas. Tomar los pesos indicados en la tabla 8 y colocarlos en recipientes separados. En el caso de las fracciones con tamaño superior a  $\frac{3}{4}$ " se cuenta también el número de partículas. Cuando son rocas deberán ser rotas en fragmentos uniformes; se pesarán 100 gr. de cada una. La muestra de ensayo pesará 5 000 gr.  $\pm 2$  %. La muestra será bien lavada y secada antes del ensayo.

Tabla VIII. **Agregado grueso**

Agregado grueso Ensayo de durabilidad ASTM C-88			
Nº	Tamaño	%	Peso retenido (gr.)
1	2 1/2" a 1 1/2"	60	5 000±300
	2 1/2" a 2"		3 000±300
	2" a 1 1/2"	40	2 000±200
2	1 1/2" a 3/4"	67	1 500±50
	1 1/2" a 1"		1 000±50
	1" a 3/4"	33	500±30
3	3/4" a 3/8"	67	1 000±10
	3/4" a 1/2"		670±10
	1/2" a 3/8"	33	330±5
4	3/8" a Núm. 4		300±5
Tamices mayores obtenidos en incrementos de 1"			7 000±1 000

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 52.

Procedimiento de ensayo:

- Sumergir las muestras preparadas en la solución de sulfato de sodio o magnesio por un período de 16 a 18 horas, de manera que el nivel de la solución quede por lo menos 13 mm por encima de la muestra. Tapar el recipiente para evitar la evaporación y contaminación con sustancias extrañas. Mantener la temperatura en  $21 \pm 1$  °C durante el período de inmersión 2.

Retirar la muestra de la solución dejándola escurrir durante  $15 \pm 5$  min., secar en el horno a  $110 \pm 5$  °C hasta obtener peso constante a la temperatura indicada. Para verificar el peso se sacará la muestra a

intervalos no menores de 4 horas ni mayores de 18 horas. Se considerará que se alcanzó un peso constante cuando dos pesadas sucesivas de una muestra, no difieren más de 0,1 gr. en el caso del agregado fino, o no difieren más de 1,0 gr. en el caso del agregado grueso.

- Obtenido el peso constante dejar enfriar a temperatura ambiente y volver a sumergir en la solución para continuar con los ciclos que se especifiquen.

Evaluación cuantitativa:

- Al final de los ciclos se lava la muestra hasta eliminar los sulfatos de sodio o de magnesio; los últimos lavados deben efectuarse con agua destilada y mediante la reacción de cloruro bórico ( $\text{BaCl}_2$ ).
- Secar a peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C y se pesa.
- Tamizar el agregado fino sobre los tamices en que fue retenido antes del ensayo, y el agregado grueso sobre los tamices indicados en la tabla VIII, según el tamaño de las partículas.

Tabla IX. **Tamaño de agregado y tamiz empleado**

Tamaño del agregado	Tamiz empleado para determinar el desgaste
21/2"a11/2"	1¼"
11/2"a3/4"	5/8"
¾"a 3/8"	5/16"
3/8"a Núm. 4	Núm. 5

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 53.

#### Evaluación cualitativa:

- En las partículas de diámetro mayor a  $\frac{3}{4}$ " se efectúa un examen cualitativo después de cada inmersión y cuantitativa al término del ensayo.
- La evaluación cualitativa consistirá en inspeccionar partícula por partícula con el fin de eliminar las partículas afectadas (fracturadas, fisuradas, astilladas formación de lajas).

Resultados: para obtenerlos porcentajes de pérdida, se efectuarán las siguientes anotaciones:

#### Agregado fino:

- Porcentaje retenido en cada una de las mallas indicadas en la tabla VII.
- Peso de cada fracción antes del ensayo.
- Porcentaje de pérdidas de cada tamaño después del ensayo.
- Porcentaje de pérdidas corregidas que se obtienen multiplicando "1" por "3" y dividiendo entre cien.
- El total de pérdidas corresponde a la suma de las partículas parciales corregidas.

#### Agregado grueso:

- Porcentaje retenido en cada una de las mallas indicadas en la tabla VIII.
- Peso de cada fracción antes del ensayo.
- Porcentaje de pérdidas de cada tamaño después del ensayo.
- Porcentaje de pérdidas corregidas que se obtienen multiplicando "1" por "3" y dividiendo entre cien.

- El total de pérdidas corresponde a la suma de los porcentajes de pérdidas de las dos fracciones de cada tamaño.

Tabla X. **Ensayo de durabilidad con sulfato de sodio ASTM C-88**

SOLICITADO PROYECTO										
AGREGADOGRUESO										
Nº	Tamaño	%	Peso retenido (gr)	TARA Nº	PESO INICIAL EMPLEADO <sup>1</sup> (gr)	PESO FINAL <sup>2</sup> (gr)	PERDIDAS PESO		ESCALONADO ORIGINAL <sup>5</sup>	PERDIDAS CORREGIDAS <sup>6</sup> (%)
							(gr) <sup>3</sup>	(%) <sup>4</sup>		
1	2 1/2" a 1 1/2" 2 1/2" a 2" 2" a 1 1/2"	60 40	5 000+300		1 184,0	960,0	224	18,9	29	5,5
			3 000+300							
			2 000+200	TR-9	1 184,0	960,0	224	18,9	29	
2	11/2" a 3/4" 1 1/2" a 1" 1" a 3/4"	67 33	1 500+50		1 530,0	1 462,0	68	4,4	38	1,6
			1 000+50	TR-10	1 013,0	971,0	42	4,1	25	
			500+30	TR-12	517,0	491,0	26	5,0	12	
3	3/4" a 3/8" 3/4" a 1/2" 1/2" a 3/8"	67 33	1 000+10		1 000,0	957,0	43	4,3	24	1,0
			670+10	N-8	668,0	632,0	36	5,4	16	
			330+5	N-10	332,0	325,0	7	2,1	8	
4	3/8" a N <sup>o</sup> 4		300+5	N-12	301,0	297,0	4	1,3	7	0,1
<b>PERDIDAS TOTALES</b>										<b>8,4</b>
AGREGADOFINO										
Tamaño	Peso retenido (gr)	TARA Nº	PESO INICIAL EMPLEADO <sup>1</sup> (gr)	PESO FINAL <sup>2</sup> (gr)	PERDIDAS PESO		ESCALONADO ORIGINAL <sup>5</sup>	PERDIDAS CORREGIDAS <sup>6</sup> (%)		
					(gr) <sup>3</sup>	(%) <sup>4</sup>				
3/8" a N <sup>o</sup> 4	100	N-21	100,0	91,0	9,0	9,0	25	2,2		
N <sup>o</sup> 4 a N <sup>o</sup> 8	100	N-25	100,0	99,0	1,0	1,0	18	0,1		
N <sup>o</sup> 8 a N <sup>o</sup> 16	100	N-148	100,0	98,5	1,5	1,5	17	0,2		
N <sup>o</sup> 16 a N <sup>o</sup> 30	100	N-4	100,0	95,0	5,0	5,0	21	1,0		
N <sup>o</sup> 30 a N <sup>o</sup> 50	100	N-5	100,0	93,5	6,5	6,5	19	1,2		
<b>PERDIDAS TOTALES</b>										<b>4,9</b>

3=(1-2)      5=% retenido del análisis granulométrico inicial      6=(4\*5)/100  
4=(3/1)\*100

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 55.

Figura 11. **Muestras preparadas en solución de sulfato de sodio**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 56.





### **3. ENSAYOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS**

#### **3.1. Calidad de agregados para mezclas asfálticas en caliente**

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de carreteras, ya sea en las capas de rodadura o en las capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica para los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir todas las cargas que le pueda transmitir el tránsito para que sean soportadas y disipadas por estas.

Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño de carreteras:

- La función resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que se empleará en su construcción.
- La finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores, para que resulten seguras y confortables.

##### **3.1.1. Mineralogía**

Los agregados usados en construcción de carreteras se obtienen de rocas naturales locales. Las rocas naturales se clasifican geológicamente en tres grupos, dependiendo de su origen: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Otro tipo de agregados, algunas veces usados en mezclas asfálticas en caliente son los agregados livianos, producto de arcillas calentadas a temperaturas muy altas y escorias de altos hornos.

Estos dos agregados proporcionan buena resistencia al patinaje cuando se utilizan en mezclas asfálticas en caliente. En tabla XI se resumen propiedades deseables de rocas, para agregados utilizados en mezclas asfálticas en caliente.

Tabla XI. **Propiedades deseables de rocas**

Tipo de Roca	Dureza/ Tenacidad	Resistencia al desprendimiento*	Textura superficial	Forma fracturada
<b>Ignea:</b> Granito Sienita Diorita Balasto Diabasa Gabro	Regular Bueno Bueno Bueno Bueno Bueno	Regular Regular Regular Bueno Bueno Bueno	Regular Regular Regular Bueno Bueno Bueno	Regular Regular Bueno Bueno Bueno Bueno
<b>Sedimentaria:</b> Caliza, dolomita Arenisca Cherf Lutita	Pobre Regular Bueno Pobre	Bueno Bueno Regular Pobre	Bueno Bueno Pobre Regular	Regular Bueno Bueno Regular
<b>Metamórficas:</b> Gnesis Esquisto Pizarra Cuarcita Mármol Serpentina**	Regular Regular Bueno Bueno Pobre Bueno	Regular Regular Regular Regular Bueno Regular	Bueno Bueno Regular Bueno Regular Regular	Bueno Regular Regular Bueno Regular Regular
*Agregados hidrofílicos tienden a separar más fácilmente las películas de asfalto.				
**Es un mineral que se forma por alteración de las rocas ultrabásicas				

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p.59.

La mayoría de los agregados están compuestos por varios minerales. El ensayo de residuo de ácido insoluble (ASTMD-3042) se usa como medida de la cantidad de materiales duros presentes en los carbonatos de los agregados. Algunos departamentos de carretera se especifican un mínimo de 10 % de

ácido sin solubles que aseguran propiedades aceptables de fricción. Otras agencias usan ensayos de pulido (ASTM D-3319 o E660 y E303) o exámenes petrográficos (ASTM C-295).

Los agregados con sustancias deletéreas no son deseables en mezclas asfálticas en caliente y no deberían usarse a menos que la cantidad de la matriz se reduzca por lavado u otro medio. Las especificaciones para agregados normalmente enumeran una lista de materiales deletéreos (terrones de arcilla, lutita, y partículas blandas). Otras agencias especifican un mínimo de equivalente de arena (ASTMD-2419) o índice máximo de plasticidad (ASTMD-4318). AASHTO M283, sugiere que la capa en agregados después de humedecidos no deben exceder el 0,5 % al ser ensayados AASHTO T11 (ASTM C-117).

Uno de los más importantes efectos de la mineralogía de los agregados en el comportamiento de mezclas asfálticas en caliente, es su influencia en la adhesión y perjuicio por humedad.

### **3.1.2. Propiedades físicas de los agregados**

Los agregados para mezclas asfálticas en caliente son usualmente clasificados por tamaños en agregados gruesos, agregados finos, o Filler mineral. ASTM define a los agregados gruesos como las partículas retenidas en la malla núm. 4(4,75 mm).

Filler mineral es como el material que pasa la malla núm. 200 (75  $\mu$ m) en un porcentaje mínimo de 70 %.

Las especificaciones de agregados gruesos, finos y Filler mineral se dan en ASTM D-692, D-1073 y D-242, respectivamente. Los agregados adecuados para su uso en mezclas asfálticas en caliente, se determinan evaluándolos para las siguientes características mecánicas.

- Tamaño y gradación
- Limpieza / materiales deletéreos
- Tenacidad / dureza
- Durabilidad / resistencia
- Textura superficial
- Forma de partículas
- Absorción
- Afinidad por el asfalto

El ensayo de equivalente de arena, desarrollado por la *California Division of Highways* escrito en ASTM D-2419 es un método para determinar la proporción relativa de polvo o arcilla en la porción de agregado que pasa la malla núm. 4.

Los agregados sufren desgaste abrasivo durante su construcción, colocación y compactación de mezclas asfálticas para pavimentos. Los agregados también están sujetos a abrasión por efecto de la carga de tránsito. Los agregados de la superficie requieren mayor tenacidad que los agregados de capas menores que reciben cargas disipadas.

El ensayo de abrasión de Los Ángeles mide el desgaste o resistencia a la abrasión del agregado mineral. El equipo y procedimiento se detallan en AASHTO T-96 y ASTM C-131.

El ensayo de prueba dará rangos de 10 % para rocas ígneas muy duras a 60 % para calizas y areniscas. El máximo desgaste para agregados gruesos usados en carreteras de primera categoría con mezclas asfálticas en caliente se limita el porcentaje de desgaste a 40 % y otras agencias en 60 %. ASTM D-1073, no especifica el porcentaje máximo de pérdida por abrasión.

Los agregados deben ser resistentes a la falla o desintegración por efectos del humedecimiento-secado y hielo-deshielo. El ensayo ASTM C-88 es una medida empírica que pretende indicar la durabilidad debido a variaciones del clima; no se encontraron registros históricos por ser una nueva fuente para evaluar agregados.

### **3.2. Asfaltos**

El cemento asfáltico y el alquitrán son considerados materiales bituminosos. Frecuentemente, estos dos términos son usados intercambiando hábilmente sus conceptos, resultado de su similitud en apariencia y algunas aplicaciones. Sin embargo, el cemento asfáltico y el alquitrán son dos materiales diferentes, con diferentes orígenes y características químicas y físicas.

El cemento asfáltico es de color marrón oscuro a negro material cementado que se origina de manera natural o como producto de la destilación del petróleo. El alquitrán es primeramente fabricado por la destilación seca del carbón bituminoso y tiene un olor muy diferente. El cemento asfáltico es usado principalmente en los Estados Unidos en aplicaciones de pavimentos.

El alquitrán es difícilmente usado en pavimentación porque algunas de sus características físicas no deseables tal como el ser muy susceptible a altas

temperaturas, y significando un peligro para la salud, esto causa daño a los ojos e irrita la piel cuando se expone a sus gases.

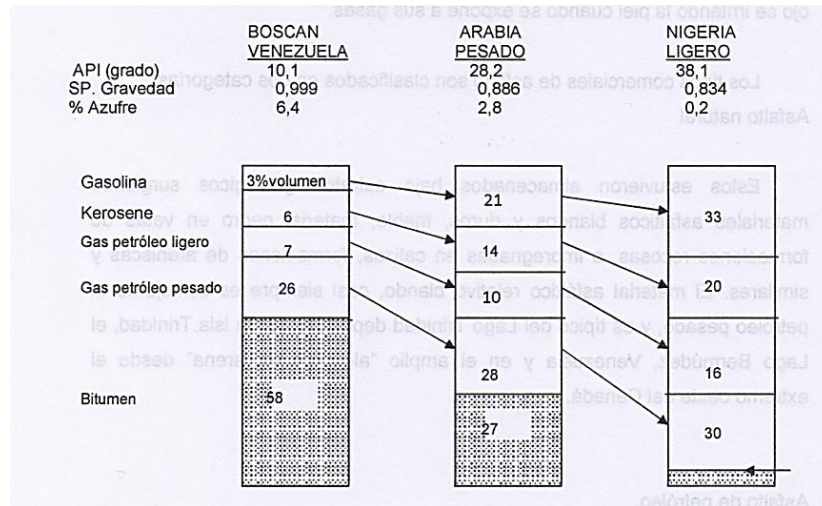
Los tipos comerciales de asfalto son clasificados en dos categorías:

- Asfalto natural: estos estuvieron almacenados bajo estratos geológicos, surgiendo materiales asfálticos blandos y duros, friables, material negro en vetas de formaciones rocosas, o impregnadas en calizas, formaciones de areniscas y similares. El material asfáltico relativo blando, casi siempre es semejante al petróleo pesado, y es típico del lago Trinidad depositado en la isla Trinidad, el lago Bermúdez, Venezuela y en el amplio “alquitrán de arena” desde el extremo oeste del Canadá.
- El asfalto de petróleo está formado por coloides dispersos en hidrocarburos en el crudo de petróleo y se obtienen por su refinación. Con el descubrimiento del proceso de refinación en 1900 y la popularidad de los automóviles, grandes cantidades de petróleo fueron procesados para obtener asfalto. Gradualmente el proceso de refinamiento de los asfaltos es de mejor calidad.

### **3.2.1. Refinamiento del asfalto**

El crudo de petróleo varía en composición de fuente a fuente, con diferente rendimiento de cemento asfáltico residual y otras fracciones destilables. La siguiente figura muestra algunos porcentajes en volumen de las fracciones de tres crudos.

Figura 12. Fracciones de tres crudos



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 63.

El crudo de petróleo ha sido arbitrariamente clasificado de acuerdo con su gravedad API (*American Petroleum Institute*); para el mismo puede utilizar estimar la producción de asfalto. La gravedad API es una expresión arbitraria de la densidad o peso por unidad de volumen del material a 60 °F y es obtenido a partir de:

$$\text{Gravedad API (grado)} = \frac{14,5}{\text{Gravedad específica}} - 131,5$$

La gravedad API para el agua es 10. El asfalto tiene un API de aproximadamente 5 a 10, mientras que la gravedad API de la gasolina está cerca de 55.

La baja gravedad API del crudo (API menor de 25) representa una producción relativamente baja de productos de evaporación y alto porcentaje de cemento asfáltico.

De otra manera, una alta gravedad API del crudo (API más de 25) representa un rendimiento relativamente alto de productos de evaporación y bajo porcentaje de cemento asfáltico.

La baja gravedad se conoce en la industria como crudo pesado, que contiene alto contenido de azufre. El alto grado de gravedad API se refiere a crudos ligeros, que son los que contienen bajo porcentaje de azufre. Por tanto, un refinador elige el tipo de crudo dependiendo del tipo y cantidad de producto elaborado. Los crudos se identifican por nombre o fuente con su gravedad API; en la tabla XII se muestran algunos tipos de crudo con sus fuentes.

Tabla XII. **Tipos de crudos con su fuente**

Tipo	APIFuente	
A	34	Arabian Light, Arabia Saudita
	32	Kuwait
B	28	Hawkins, USA
	26	Tijuana, Venezuela
C	19	Galán, Colombia
	18	Cyrus, Irán
D	16	Lloydminster, Canadá
	15	Obeja, Venezuela
E	12	Panuco, México
	10	Boscan, Venezuela

Fuente: MINAYA GONZALES, *Silene. Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 64.

Los procesos de refinación para la obtención de asfaltos dependen de las características del crudo y el rendimiento del asfalto que representa. Si este rendimiento es alto y el crudo presenta características asfálticas, basta una etapa de destilación al vacío. Para los crudos que presentan rendimientos medios de asfalto son necesarias dos etapas de destilación: una a presión atmosférica y otra a vacío.



Para crudos muy livianos de bajo rendimiento de asfaltos es necesario además de las etapas mencionadas, otra final adicional de extracción.

Estos procesos de obtención por destilación y extracción, consisten básicamente en la separación física de los hidrocarburos componentes constituidos como mezcla en el crudo, por diferencia en sus puntos de ebullición y de condensación.

### **3.2.2. Tipos de asfaltos y usos**

Los asfaltos comúnmente usados para la construcción de pavimentos flexibles se dividen en tres tipos:

- Cemento de asfaltos
- Emulsiones asfálticas
- Asfaltos diluidos o *cutback*

#### **3.2.2.1. Cemento de asfáltos**

Como ya se mencionó el cemento asfáltico se obtiene, por destilación del crudo del petróleo mediante diferentes técnicas de refinación. El producto obtenido en los fondos de la torre de vacío, luego de procesos de destilación por unidades primarias y de vacío, es el cemento asfáltico de petróleo, de consistencia semisólida a temperatura ambiente.

A temperatura ambiente el cemento asfáltico es negro, pegajoso, semisólido y altamente viscoso. Este es resistente y durable con excelente adhesividad y características a prueba de agua, altamente resistente a la acción de ácidos, álcalis y sales. El cemento asfáltico se usa en grandes

cantidades, para la producción de mezclas asfálticas en caliente (HMA), primordialmente usado en la construcción de pavimentos flexibles en todo el mundo.

El cemento asfáltico puede ser mezclado con agregados para la producción del HMA, su propiedad de adhesividad facilita la unión con el agregado que después de poner a temperatura ambiente, el HMA es un muy fuerte material de pavimento que puede soportar el tráfico pesado.

Tres métodos basados en su penetración, viscosidad o comportamiento se usan para clasificar el cemento asfáltico en diferentes grados. El grado de penetración del cemento asfáltico se especifica en ASTM D-946, con cinco penetraciones estándares, 40-50, 60-70, 85-100, 120-150, 200-300. El ensayo de penetración mide la penetración de una aguja estándar dentro de un cemento para pavimentación bajo cierta temperatura, tiempo y carga. Obviamente un alto valor de penetración representa un cemento asfáltico blando. Por ejemplo, 40-50 es un grado alto y 200-300 es un grado blando.

El segundo método para clasificación el cemento asfáltico es por el grado de viscosidad, especificado en ASTM D-3381. Este se basa en la viscosidad del cemento asfáltico original o por la viscosidad del cemento asfáltico después de curado en el horno de película delgada (RTFO), Ambas viscosidades se miden en 140 °F (60 °C) y reportado en poises. El grado de viscosidad basado sobre el cemento asfáltico original incluye AC-2,5, AC-5, AC-10, AC-20, AC-30y AC-40. El grado de viscosidad del residuo asfáltico (AR) por el ensayo RTFO incluye AR-1000, AR-2000, AR-4000, AR-8000, y AR-16000. El valor numérico indica viscosidades a 140 °F (60 °C) en poises.

El tercer método de clasificación asfáltica involucra el comportamiento que se fundamenta en el programa estratégico de investigación de carreteras (SHRP).

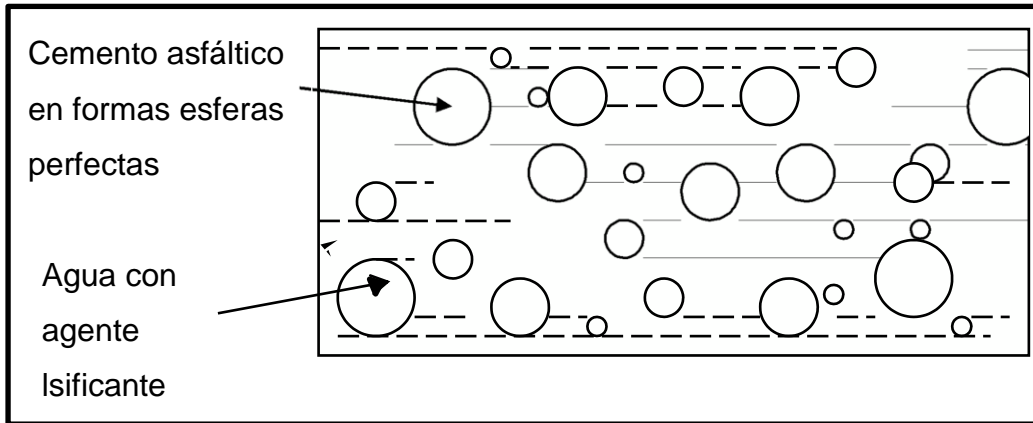
La mayoría de las mezclas asfálticas en caliente, entre 1940 a 1990, fueron diseñadas usando los métodos Marshall o Hveem. De acuerdo con la bibliografía consultada, aproximadamente el 75 % de los departamentos de carreteras en Estados Unidos emplean el método Marshall, mientras que el 25 % el método Hveem.

Algunos estados de los Estados Unidos usan ambos métodos para materiales similares, consiguiendo un mejor entendimiento de las características de mezcla. Las especificaciones para cemento asfáltico son aquellas que cumplen con propiedades normadas por la ASTM *Requirements for Penetration Graded Asphalt Cements*, tabla XII.

#### **3.2.2.2. Emulsiones asfálticas**

La emulsión asfáltica (también llamada emulsión) es una mezcla de cemento asfáltico, agua y agente emulsificante. Cemento asfáltico en forma de esferas perfectas.

Figura 13. **Emulsiones asfálticas**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 67.

Las emulsiones se preparan para reducir la viscosidad del asfalto, pudiendo aplicarse en zonas con bajas temperaturas. Los dos tipos comúnmente usados de emulsiones asfálticas se especifican en ASTM D977 y ASTM D2397.

Los agregados minerales pueden estar cargados positiva o negativamente en su superficie. Los agregados silíceos, como las areniscas, cuarzo y gravas síliceas, están cargadas negativamente, siendo generalmente compatibles con las cargas positivas catiónicas de la emulsión asfáltica. Algunos agregados como las calizas tienen en su superficie carga positiva; de esta manera generalmente son compatibles con la carga negativa aniónica de la emulsión asfáltica. Esto sucede porque las cargas opuestas se atraen entre sí.

La emulsión asfáltica aniónica es de rotura rápida (*rapidsetting*, RS), rotura medio *mediumsetting*, MS y rotura lenta *slowsetting*, SS como se especifica en ASTM D977 y se muestra en la tabla XV. La relación de rotura se controla por el tipo y cantidad del agente emulsificante. Los grados aniónicos son: RS-1,

HFRS-2, RS-2, MS-1, HFMS-2, MS-2, MS-2h, SS-1, y SS-1h. La designación “h”, significa la utilización de cemento asfáltico duro usado en la emulsión. El “HF” se refiere a un alto residuo flotante, el cual es indicador del proceso químico del residuo emulsificante.

La emulsión asfáltica catiónica especificada en ASTM D2397, que se muestra en la tabla XVI, también incluye rotura rápida (*rapidsetting*, CRS), rotura media (*mediumsetting*, CMS), y rotura Lenta (*slowsetting*, CSS). Los grados catiónicos son CRS-1, CRS-2, CMS-2, CMS-2h, CSS-1, y CSS-1h.

La elección y usos de las emulsiones asfálticas se dan en ASTM D3628. Generalmente, se emplean como sigue:

- Emulsión de rotura rápida: tratamiento superficial y *macadams* de penetración;
- Emulsión de rotura media: mezcla asfálticas en frío de gradación abierta;
- Emulsión de rotura lenta: riego de liga, *fogseal*, mezclas asfálticas en frío de gradación densa y *slurryseal*.

### **3.2.2.3. Asfaltos diluidos o *cutback***

Los asfaltos diluidos son producto de la adición de algún destilado del petróleo al cemento asfáltico, resultando menos viscoso y por ello aplicable en zonas de baja temperatura. El solvente se pierde por evaporación, quedando el cemento asfáltico sobre la superficie luego de su aplicación. Se dividen en tres tipos:

- Curado rápido (RC): producto de la adición de un diluyente ligero de alta volatilidad (generalmente gasolina o nafta) en el cemento asfáltico. Se usa principalmente como capa ligante y tratamiento superficial.
- Curado medio (MC): producto de la adición de un diluyente medio de volatilidad intermedia (generalmente kerosene) al cemento asfáltico.
- Curado lento (SC): producto de la adición de aceites de baja volatilidad (generalmente diésel u otros gases aceitosos) en el cemento asfáltico.

Las especificaciones para SC, MC y RC, se dan en ASTM D2026, ASTM D2027 y ASTM D2028, respectivamente, se muestran en las tablas XVII y XVIII. Asimismo los *cutbacks* de curado medio y rápido están especificados en la tabla XIX.; se muestran los ensayos de calidad que se realizan al cemento asfáltico, asfalto líquido y asfalto emulsionado.

Tabla XIII. **Especificaciones para cementos asfálticos**

ASTM Requirements for Penetration Graded Asphalt Cements										
	Grado de penetración									
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Penetración a 77°F (25C), 100 g, 5s	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, °F (Copa abierta Cleveland)	450		450		450		425		350	
Ductilidad a 77°F, (25C), 5 cm/min, cm	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloroetileno, %	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Penetración retenida luego del ensayo de película delgada, %	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad a 77°F (25C), 5 cm/min, luego del ensayo de Película delgada, cm			50		75		100		100*	
* Si la ductilidad a 77°F (25C) es menor que 100 cm, el material será aceptado si la ductilidad a 60F (15.5°C) es como mínimo 100cm de la razón sacada de 5cm/min.										

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 69.

Tabla XIV. Especificaciones de calidad

Características	Asfaltos sólidos para pavimentación											
	Métodos de prueba		C.A. 20-30 PEN*		C.A. 40-50 PEN*		C.A. 60-70 PEN*		C.A. 85-100 PEN*		C.A. 120-150 PEN*	
	AASHTO M20	ASTM D 946	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Penetración												
A 25°C, 100 gr.5s. 0,1 mm	T49	D5	20	30	40	50	60	70	85	100	120	150
Volatilidad												
Punto de inflamación Cleveland, copa abierta, °C	T48	D92	232		232		232		232		218	
Peso específico a 15,6/15,8°C.gr./cc	T228	D70	0,94	1,0	0,94	1,04	0,94	1,04	0,94	1,04	0,94	1,04
Ductilidad												
A 25°C, 5cm/min.cm	T51	D113	55		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloroetileno	T44	D2042	99		99		99		99		99	
% masa												
Susceptibilidad térmica												
*Prueba de calentamiento sobre película fina 3.2 mm. 163°C. 5 h	T179	D1754										
*Pérdida por calentamiento, % masa				0,8		0,8		0,8		1,0		1,5
*Penetración retenida, % del original	T49	D5	55		55+		52+		47+		42+	
*Ductilidad a 25°C. 5cm./min.cm	T51	D113	25		50		50		75		100	
Índice de susceptibilidad térmica	FRANCES RLB		-1,0	+1,0	-1,0	+1,0	-1,0	+1,0	-1,0	+1,0	-1,0	+1,0
Fluidez												
Viscosidad Cinemática a 135°C. CSt	T201	D2170	240		240		200		170		140	
Adherencia												
Revestimiento-desprendimiento, mezclado agregado bitúmen,%		D3625	>95		>95		>95		>95		>95	
Ensayo de la mancha con solvente	T102		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO	
Heptano-Xileno 20%												
Punto de ablandamiento, °C	T53	D2398	50	59	45	55	45	55	43	53	35	45

Requerimiento general: El cemento asfáltico debe presentar una estructura homogénea, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de aplicación de 175°C. Nota: (\*) Pueden ser usados para aplicaciones industriales.

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 70.

Tabla XV. Requisitos para emulsiones asfálticas aniónicas

Ensayo	Rotura rápida			Rotura media						Rotura lenta		
	RS-1	RS-2	HFRS-2	MS-1	MS-2	MS-2h	HFMS-1	HFMS-2	HFMS-2h	HFMS-2s	SS-1	SS-1h
Ensayo en emulsiones												
Viscosidad, SayboltFurol a 77°C	20-100	-	-	20-100	100+	100+	20-100	100+	100+	50+	20-100	20-100
Viscosidad, SayboltFurol a 122°C	-	75-400	75-400	-	-	-	20-100	100+	100+	50+	20-100	20-100
Mínimo residuo de destilación, %	55	63	63	44	65	65	55	65	65	65	57	57
Ensayo en residuo asfáltico												
Penetración a 77°C, 100g, 5s	100-200	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90	100-200	100-200	40-90	200+	100-200	40-90
Ensayo de flotación, 140 °F, s	-	-	1200	-	-	-	1200	1200	1200	1200	-	-

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 71.

Tabla XVI. **Requisitos para emulsiones asfálticas catiónicas**

Ensayo	Rotura rápida		Rotura media		Rotura lenta	
	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
Ensayo en emulsiones						
Viscosidad, Saybolt Furol a 77 °C	-	-	-	-	20-100	20-100
Viscosidad, Saybolt Furol a 122 °C	20-100	100-400	50-450	50-450	-	-
Destilación						
Destilación petróleo,%	3	3	12	12	-	-
Mínimo residuo,%	60	65	65	65	57	57
Ensayo en residuo destilado						
Penetración a 77 °C, 100 g, 5s	100-250	100-250	100-250	40-90	100-250	40-90

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 71.

Tabla XVII. **Requisitos para cutbacks de curadorápido**

Ensayo	RC-70	RC-250	RC-800	RC-3000
Viscosidad cinemática a 140 °F (60 °C), cSt	70-140	250-500	800-1600	3000-6000
Punto de inflamación (copa-abierta) °F (°C), mínimo	-	80(27)	80(27)	80(27)
Residuo de destilación a 680°F (360 °C), porcentaje por volumen, mínimo	55	65	75	80
Ensayos sobre residuo de destilación:				
Viscosidad a 140 °F (60 °C), F				
Ductilidad en 77 °F (25 °C), cm, Mínimo	600-2400	600-2400	600-2400	600-2400
	100	100	100	100

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p.71.



Tabla XVIII. Requisitos para *cutback* de curadomedio

Ensayo	MC-30	MC-70	MC-250	MC-800	MC-3000
Viscosidad cinemática a 140 °F (60 °C), cSt	30-60	70-140	250-500	800-1600	3000-6000
Punto de inflamación (copa- abierta) °F (°C), mínimo	100(38)	100(38)	150(66)	150(66)	150(66)
Residuo de destilación a 680°F(360 °C), porcentaje por volumen, mínimo Ensayos sobre residuo de destilación:	50	55	67	75	80
Viscosidad a 140°F(60 °C), P Ductilidad en 77°F (25 °C), cm, mínimo	300-1200	300-1200	300-1200	300-1200	300-1200
	100	100	100	100	100

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos.* p. 72.

Tabla XIX. Especificaciones de calidad

Características	Métodos de prueba		Especificación AASHTOM82 y ASTM D2027 MC-30		Especificación AASHTOM81 y ASTM D2028			
	AASHTO	ASTM	Min.	Máx.	RC-70		RC-250	
					Min.	Máx.	Min.	Máx.
Fluidez								
*Viscosidad Cinemática a 60°C St	T201	D2170	30	60	70	140	250	500
Volatilidad								
Punto de inflamación TAG.Copa abierta, °C	T79	D3143	38				27	
Destilación	T78	D402						
% Volumen Total Destilado hasta 380°C, % Vol.								
*a 190°C					10			
*a 225°C				25	50		35	
*a 260°C			40	70	70		60	
*a 316°C			75	93	85		80	
*Residuo de destilación a 360°C, %Vol. por diferencia			50		55		65	
Pruebas sobre el residuo de la destilación								
Penetración a 25°C, 100gr., 5s. 0.1 mm	T49	D5	120	250	80	120	80	120
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min., cm	T51	D113	100		100		100	
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	T44	D2042	99		99		99	
Adherencia								
Revestimiento-desprendimiento, mezcla agregado-Bitumen, %		D3625	95		95		95	
Ensayo de la mancha con solvente Heptano-Xileno 20%								
Contaminantes	T102		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de agua, % volumen	T55	D95		0.2		0.2		0.2

Requerimiento General Asfaltos Líquidos: El asfalto debe presentar un aspecto homogéneo y sin grumos antes de ser usado y no debe formar espuma cuando se calienta a la temperatura de aplicación.

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos.* p. 73.

### **3.3. Ensayo de adherencia de los ligantes bituminosos a los agregados gruesos ASTM D-1664**

Todos los agregados son porosos, y algunos son más que otros. La porosidad se determina sumergiendo los agregados en un baño y determinando la cantidad de líquido que absorbe.

La capacidad de un agregado para absorber agua (o asfalto) es un factor importante que debe ser cuantificado en el diseño de mezclas asfálticas. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial, disminuyendo la cantidad de asfalto para ligar las demás partículas de agregado. Por ello, un agregado más poroso requiere cantidades mayores de asfalto que las que requiere un agregado con menos porosidad.

Los agregados altamente porosos y absorbentes normalmente no son usados, a menos que posean características que los hagan deseables. Algunos ejemplos de dichos materiales son la escoria de alto horno y ciertos agregados sintéticos. Estos materiales son altamente porosos, pero también son livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste.

El concepto de adherencia en el diseño de mezclas asfálticas está relacionado la afinidad del agregado por el asfalto, es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas y las dolomitas tienen alta afinidad con el asfalto sin embargo también son hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofílicos (que atraen el agua) tienen, por otro lado, poca afinidad por el asfalto. Por consiguiente, tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestas al agua. Los agregados silíceos (cuarcita y algunos granitos) son ejemplos de agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con precaución.

Como se ha explicado, el concepto de adherencia no está necesariamente ligado al concepto de porosidad.

Los agregados usados en construcción de carreteras se obtienen del abastecimiento de rocas naturales locales. Las rocas naturales son clasificadas geológicamente en tres grupos, dependiendo de su origen: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Otro tipo de agregados usados en mezclas asfálticas en caliente son los agregados livianos, producto de arcillas calentadas a temperaturas muy altas, y escorias de altos hornos. Estos dos agregados proporcionan buena resistencia al patinaje cuando se usan en mezclas asfálticas en caliente.

En la siguiente tabla se resumen propiedades deseables de rocas para agregados, utilizados en mezclas asfálticas en caliente.

Tabla XX. **Propiedades deseables de rocas**

Tipo de Roca	Dureza/ Tenacidad	Resistencia al desprendimiento*	Textura superficial	Forma fracturada
<b>Ígnea:</b>				
Granito	Regular	Regular	Regular	Regular
Sienita	Bueno	Regular	Regular	Regular
Diorita	Bueno	Regular	Regular	Bueno
Balasto	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Diabasa	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Gabro	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
<b>Sedimentaria:</b>				
Caliza, dolomita	Pobre	Bueno	Bueno	Regular
Arenisca	Regular	Bueno	Bueno	Bueno
Cherf	Bueno	Regular	Pobre	Bueno
Lutita	Pobre	Pobre	Regular	Regular
<b>Metamórficas:</b>				
Gnesis	Regular	Regular	Bueno	Bueno
Esquisto	Regular	Regular	Bueno	Regular
Pizarra	Bueno	Regular	Regular	Regular
Cuarcita	Bueno	Regular	Bueno	Bueno
Mármol	Pobre	Bueno	Regular	Regular
Serpentina**	Bueno	Regular	Regular	Regular
*Agregados hidrofílicos tienden a separar más fácilmente las películas de asfalto. **Es un mineral que se forma por alteración de las rocas ultra básicas				

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 77.

Este método describe los procedimientos de revestimiento e inmersión estática para determinar la capacidad de retención de una película bituminosa sobre una superficie de agregado en presencia del agua.

Esto es aplicable para ambos bitúmenes: RC y cemento asfáltico. Donde se desee evitar el desprendimiento, se puede agregar algún aditivo.

#### Equipos de laboratorio:

- Tamices de 3/8", 1/4" y bandeja.
- Recipiente de porcelana.
- Recipiente de vidrio de 500 ml de capacidad.
- Horno de capaz de mantener temperaturas de  $60^{\circ}$ - $149^{\circ} \pm 1,1$  °C.
- Baño de María para asfalto. con controlador automático.
- Balanza de  $200 \pm 0,1$  gr de precisión.
- Espátula acerada de 1" de ancho y 4" de longitud.
- Bitumen; que debe ser del mismo tipo de que se va usar en obra. Si se propone algún aditivo químico, este debe adicionarse al Bitumen en la cantidad especificada, y antes de mezclar enteramente el espécimen.
- Agua destilada con PH entre 6 y 7.

#### Preparación de la muestra

- Tamizar el agregado grueso por las mallas 3/8" y 1/4".
- Se lava la muestra retenida en la malla 1/4" con agua destilada para eliminar los finos y se lleva a secar en horno a la temperatura de 110 °C hasta que mantenga un peso constante.

#### Procedimiento de ensayo

- Calentar el agregado y bitumen a la temperatura de mezcla, tabla XXII.
- Pesar  $100 \pm 1$ gr. del agregado y verterlo en un recipiente de porcelana. Para el caso 3 incorporar a los agregados 2 ml de agua destilada, mezclar hasta que las partículas estén completamente humedecidas. Pesar el recipiente con el agregado.

- Incorporar en el recipiente de porcelana que aún se encuentra en la balanza, la cantidad de material bituminoso, especificado en la tabla XXII o en la nota.
- Con una espátula caliente se mezcla vigorosamente hasta que el agregado quede totalmente revestido con el material bituminoso.
- La mezcla se vierte en un recipiente de vidrio de 500 ml de capacidad y se lleva al horno por espacio de 2 hr. a la temperatura indicada en la tabla XII, para ser curado.
- Transcurrido el tiempo se retira el recipiente del horno, se remezcla con la espátula, mientras la mezcla enfría a temperatura ambiente.
- Incorporar aproximadamente 400 ml de agua destilada a 25 °C.

Tabla XXI. **Temperatura para mezcla del material bituminosos (ensayo de adherencia ASTM D-1664)**

Material	Temperatura(°C)
Asfalto líquido, grados 30y 70	T. ambiente
Asfalto líquido 250 (RC-250)	35±3
Asfalto líquido grado 800	52±3
Asfalto líquido grado 3000	68±3
Alquitrán grados RT-1, RT-2, RT-3	60±3
Alquitrán grados RTCB-5,RTCB-6	60±3
Alquitrán grados RT-4, RT-5, RT-6	71±3
Alquitrán grados RT-7, RT-8, RT-9	93±3
Cementos asfálticos 40-50PEN, 60-70PEN, 85-100 PEN	142±3

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 79

Si el material bituminoso no se encuentra en la tabla, la temperatura de mezclado es la temperatura ambiente.

Tabla XXII. **Cantidad de material bituminoso a incorporar**

(Ensayo de adherencia ASTM D-1664)						
Caso	Condición del agregado	Material bituminoso	Tiempo de mezcla	Tº de curado	Tiempo de curado	Tiempo de inmersión en agua
1	Agregado seco	Asfaltos líquidos				
		5.5±0.2 gr.	2.0 min.	60°C	2 h.	16-18 h.
2		Emulsiones asfálticas				
		8.0±0.2 gr.	5.0 min.	135°C	2 h.	16-18 h.
3		Cemento asfáltico				
		5.5±0.2 gr.	2.0-3.0 min.	-	No requiere	16-18 h.
4	Agregado húmedo	Asfaltos líquidos				
		5.5±0.2 gr.	5.0 min.	60°C	2 h.	16-18 h.

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 79.

- El frasco se lleva a baño de María que contiene agua a 25 ° C, hasta una altura que alcance las  $\frac{3}{4}$  partes de la altura del vaso de vidrio. Es importante indicar que la temperatura debe mantenerse constante.
- El frasco se tendrá en el baño de María por un período de 16 a 18 horas.
- Retirar la muestra y sin agitar o alterar el agregado revestido, quitar alguna película que flota en la superficie del agua. Determinar por observación el porcentaje del área total visible del agregado que queda revestido sobre o debajo del 95 %.

- En el informe se mencionará si el porcentaje de área revestida es mayor o menor a 95 %, consignándose como (+ 95) o (– 95), respectivamente.

### 3.4. Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (procedimiento Riedel Weber)

Fundamento: la arena que forma parte de una mezcla asfáltica debe tener propiedades químicas adecuadas que permitan la elaboración de una mezcla uniforme, que cumpla con todos los requisitos de durabilidad; una de ellas es medir la adhesividad de los ligantes bituminosos respecto de una arena natural o de machaqueo, cuando la mezcla árido-ligante se somete a la acción de soluciones de carbonato de sodio a concentraciones crecientes.

Objetivo: el ensayo de Riedel Weber tiene por finalidad determinar el grado de adhesividad del agregado fino con el asfalto. Se describirán los métodos de ensayo en el siguiente orden: norma francesa DEE MA8-1938, norma española NLT-355/74, norma chilena número. LNV10-86 y norma MTC220-1999 en forma paralela; y se hará hincapié en caso los procedimientos sean diferente. El ensayo emplea material que pasa las siguientes mallas (tabla XXIV):

Tabla XXIII. **Método de ensayo y el material que emplea**

Norma	Pasa el tamiz	Retiene en el tamiz
Francesa D.E.E. MA8-1938	Núm. 30	Núm. 80
Española NLT-355/74	Núm. 30	Núm. 70
Chilena No. LNV10-86	Núm. 30	Núm. 100
MTC 220-1999	Núm. 30	Núm. 70

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 84.



Este material se mezcla con asfalto y se ensaya con carbonato de sodio a diferentes concentraciones molares. Todas las normas pueden aplicarse a todos los ligantes bituminosos, betunes de penetración, y fluidificados, alquitranes y emulsiones bituminosas.

Equipos de laboratorio:

- Tamices: de abertura cuadrada correspondiente a la norma de ensayo y bandeja. La norma española emplea dos tamices de abertura cuadrada que estén de acuerdo con las normas UNE 7.050 (ASTM D:E11-70) de los siguientes tamaños: tamiz 0,63 UNE (ASTM N°30) y tamiz 0,20 UNE (ASTM núm. 70).
- Estufa: que alcance y mantenga temperaturas de  $145 \pm 5$  °C.
- Cápsula: de porcelana de 300 ml de capacidad.
- Balanza: de 1 kg de capacidad, sensibilidad de 0,1 gr.
- Balanza: de 200 gr. de capacidad, sensibilidad de 0,01 gr.
- Tubos de ensayo: de 1,3 cm de diámetro y 15 cm de altura , resistentes al calor (*pirex*).
- Soporte para tubos de ensayo.
- Fiola de 500 ml de capacidad resistente al calor (*pirex*).
- Vaso de *pirex* de 400 ml de capacidad.
- Espátula.
- Mechero.
- Cronómetro de 10 minutos.
- Chisquete de agua.

Preparación de la solución: el carbonato sódico puro ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) anhidro y agua  $\text{H}_2\text{O}$  destilada forman la solución de carbonato de sodio. Para preparar la disolución a diferentes concentraciones, se debe disolver el peso de

carbonato de sodio indicado en la tabla XXV, según la concentración que se desee obtener, hasta completar un litro de agua destilada.

Tabla XXIV. **Peso de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> por litro de disolución**

Peso de Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> por litro de disolución		
Concentración de disoluciones molares	CO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> gr/lit	Grado
H <sub>2</sub> O destilada		0
M/256	0,414	1
M7128	0,828	2
m/64	1,656	3
m/32	3,313	4
m/16	3,625	5
m/8	13,250	6
m/4	26,500	7
m/2	53,000	8
m/1	106,000	9

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 85.

Procedimiento de ensayo:

- Extraer una muestra representativa por cuarteo.
- En el caso de la norma española y del MTC, si la muestra de árido recibido en el laboratorio proceda de piedra de cantera o de gravera, se procede a su cuarteo y posterior machaqueo hasta obtener una arena; si la muestra de árido recibida es una arena natural o de machaqueo, se separa por sucesivos cuarteos el material necesario para el ensayo.
- Tamizar aproximadamente 200 grs de agregado fino según norma de ensayo.
- Norma Francesa, se tamiza el material por la mallas núm.30 y 80, usando la porción retenida en el tamiz inferior.

- Norma española y MTC, la fracción del material obtenida por cuarteo se lava para eliminar totalmente el polvo que pueda contener, seguidamente se seca en estufa a la temperatura de  $145\pm 5$  °C durante una hora.
- Norma chilena, la muestra se tamiza por vía húmeda por la malla núm.200, se seca  $110\pm 5$  °C y se deja enfriar a temperatura ambiente, luego se procede a tamizar por las mallas núm.30 y 100.
- Si el ligante a emplear es betún asfáltico de penetración, fluidificado o fluxado, o alquitrán, la proporción de mezcla árido-ligante es de 71 volúmenes del árido seco con 29 de ligante (la relación correspondiente de masas se calcula a partir de las densidades respectivas). Además, las normas españolas, MTC y chilena incorporan como ligante a la emulsión bituminosa de la siguiente manera:
  - De acuerdo con la norma española y MTC, la proporción de mezcla árido-ligante es de 71 volúmenes del árido seco con 95 volúmenes de ligante al 50 %.  
En la norma chilena, la proporción de mezcla árido-ligante es de 71 volúmenes del árido seco con 29 volúmenes de emulsión.
- En la cápsula de porcelana precalentada, a la temperatura de mezcla, se incorpora con una espátula caliente el árido con el ligante, debiendo lograr una mezcla homogénea y revestimiento total de las partículas. La temperatura de mezcla será de acuerdo con la tabla II.
- Dejar enfriar a temperatura ambiente aproximadamente por 1 hora. Para el caso de mezcla con emulsión las normas consideran:
- Norma española y MTC, luego del período de enfriamiento, se decanta el líquido en exceso que acompaña la muestra y se deja reposar durante 24 horas.  
Norma chilena: una hora después de efectuada la mezcla se cura en horno durante 24 horas a la temperatura de  $35\pm 3$  °C.

- Preparar 10 esferas de 0,50 gr. de la mezcla, pesadas en una balanza con precisión de 0,01 gr.
- En 10 tubos de ensayo se introducen las esferas preparadas con la mezcla, enumerándolas de 0 a 9. En el tubo marcado con "0", se incorpora 2,0 ml de agua destilada para la norma Francesa, y 6 ml en el caso de las normas Españolas y MTC; marcar en el tubo la superficie libre que alcanza el agua. Colocarlo sobre el mechero con ayuda de una pinza.
- En el momento en que entra en ebullición se controla un minuto con el cronómetro, retirar el tubo de ensayo y añadir agua destilada con chisguete hasta el nivel inicial. Agitar vigorosamente por 10 segundos y observar si existe desprendimiento del asfalto en el agregado fino.
- Si no se observa desprendimiento alguno, se repiten los pasos 9 y 10 con el tubo 1, incorporando el volumen (según punto 9) de carbonato de sodio a la concentración m/256; así sucesivamente hasta que se observe algún desprendimiento entre el ligante y la arena, para el caso de la norma Francesa. En las normas española, MTC y chilena se continúa con el ensayo hasta que se produzca el desplazamiento total; si el desprendimiento es parcial continuar con mayores concentraciones molares.
- Se asignará el índice de adhesividad correspondiente a la concentración empleada, según la tabla XXVI. Si no hay desprendimiento se asignará el grado 10.

Tabla XXV. **Temperatura de mezcla según norma de ensayo**

Temperatura de mezcla según norma de ensayo				
Norma	Francesa D.E.E.MA8- 1938	Española NLT-355/74	MTC220-1999 (orientativo)	Chilena No. LNV10-86
Mezcla con:	Temperatura °C			
Betún	Según el asfalto a utilizar	150°C	140 – 175	110±5°C
Betún fluidificado		70°C	25 – 110	
Betún fluxado			50 – 110	
Alquitrán		70°C	70 – 110	
Emulsión bituminosa		Ambiente	Ambiente	20±3°C

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 87.

**Evaluación:**

- Norma francesa: como índice de adhesividad se le asignará al número correspondiente a la menor de las concentraciones ensayadas con la que se produce algún desprendimiento.
- Norma española y MTC definen los siguientes términos: desplazamiento total, cuando prácticamente todos los granos de la arena aparecen limpios, pudiendo comprobarse por qué los granos están sueltos o por qué al hacer rodar entre los dedos el tubo de ensayo, los granos de arena siguen libremente la rotación imprimida al tubo ( para ello se puede utilizar como referencia a un tubo de ensayo sin ligante, conteniendo de 5 a 6 ml de agua para comparar su aspecto o movimiento al rodar el tubo de ensayo entre los dedos.

Desplazamiento parcial, cuando los granos de la arena aparecen semilimpios, manteniendo una liga o cohesión entre ellos, en este caso los granos de arena envueltos por el ligante permanecen aglomerados en el fondo del tubo de ensayo.

Para apreciar la adherencia entre el árido-ligante después del ensayo, no se considera el ligante que aparezca en la superficie del tubo de ensayo; solo debe tenerse en cuenta el aspecto que ofrezca la masa de mezcla que queda en el fondo del tubo.

### **3.5. Destilación de asfaltos líquidos ASTM D-402**

Finalidad: el ensayo de destilación se emplea para determinar las proporciones relativas de cemento asfáltico y disolventes presentes en el asfalto líquido. Durante el proceso de ensayo se podrán medir las cantidades de disolvente que destilan a diversas temperaturas, dando un indicativo de las características de evaporación del mismo. Estas, a su vez, indican la velocidad a que el material curará después de su aplicación.

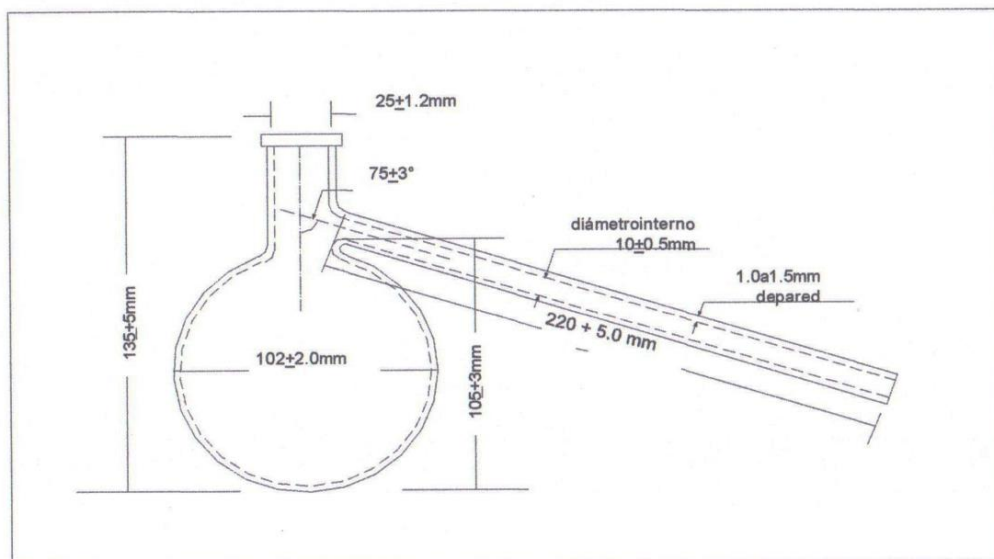
El proceso de ensayo consiste en la destilación de una muestra de 200 cm<sup>3</sup> de asfalto líquido en un matraz de 500 cm<sup>3</sup>, elevando la temperatura y midiendo los volúmenes de disolvente que se receptionan en una probeta, a temperaturas especificadas. El material que queda en el matraz será el residuo de destilación.

Equipos de laboratorio:

- Matraz de 500 cm<sup>3</sup>.
- Condensador recto de vidrio. De 200 a 300 mm de largo.

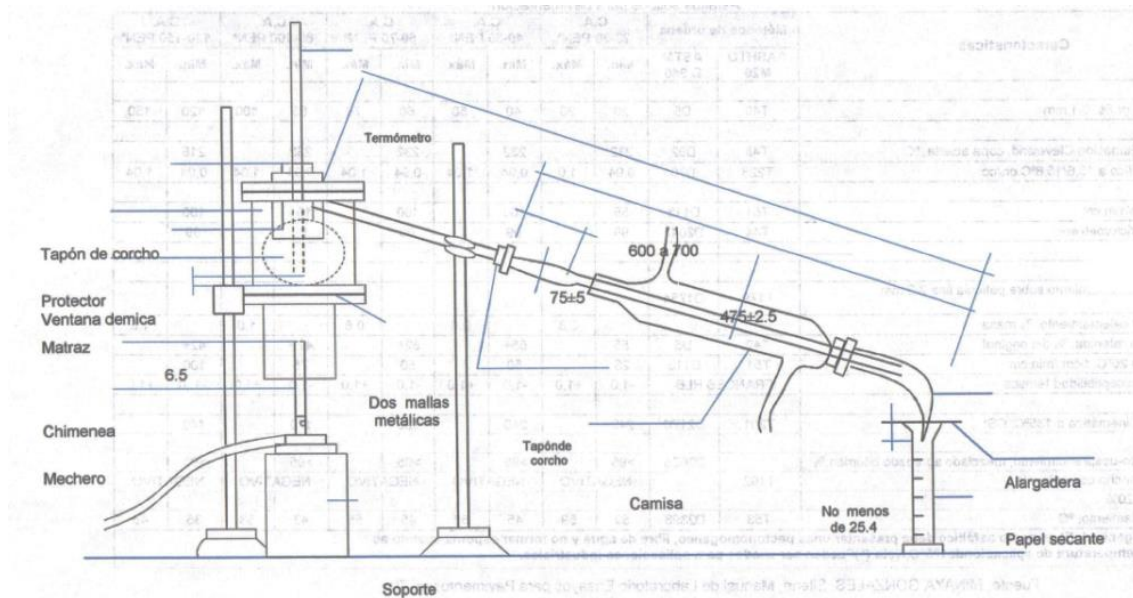
- Alargadera. De 1 mm de espesor de pared y borde reforzado, con ángulo de  $105^\circ$  y 18 mm de diámetro en su extremo superior y 5 mm en el inferior.
- Pantalla metálica: de hierro galvanizado forrado interiormente con amianto de 3 mm de grosor y provisto de ventanas rectangulares cubiertas de mica transparente.
- Mechero de gas graduable.
- Chimenea de hierro.
- Probetas de 100 cm<sup>3</sup> de capacidad.
- Termómetro de destilación. ASTM E-1, de  $-2^\circ\text{C}$  a  $400^\circ\text{C}$  de  $1^\circ\text{C}$  de error máximo.
- Balanza de 5 kg. de capacidad y 1,0 gramo de aproximación.
- Sujetadores.

Figura 14. **Equipo de destilación simple**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de ensayo laboratorio para pavimentos*. p. 94.

Figura 15. **Equipo de destilación fraccionada**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de ensayo laboratorio para pavimentos*. p. 95.

### Procedimientos de ensayo

- Armar el equipo de destilación, teniendo el cuidado de que todas las conexiones del equipo de destilación queden herméticamente cerradas para evitar fuga de vapores, que el termómetro quede fijado en posición vertical y alineado con el eje del matraz.
- Agitar la muestra que será ensayada para conseguir homogeneidad, calentarla si fuera necesario. Si la muestra contiene más del 2 % de agua, deshidratar el material antes de la destilación para que no produzca espuma.
- Pesar el matraz lavado, secado al horno y frío con el protector.
- Incorporar al matraz el peso equivalente a 200 cm<sup>3</sup> de la muestra, con aproximación a 0,5 gr., calculado según su peso específico.



- Montar el matraz, colocar el termómetro y hacer circular el agua para que condense el vapor.
- Prender el mechero y regularlo de tal manera que, luego de iniciado el proceso de ebullición, la primera gota caiga en la probeta entre los 5 y 15 minutos.
- La velocidad de destilación debe ser controlada durante todo el ensayo, debiendo cumplir con las siguientes especificaciones:

Tabla XXVI. **Temperatura y velocidad de destilación**

Temperatura (°C)		Velocidad de Destilación (gotas/min)
Desde	Hasta	
0	225	50 a 70
226	260	50 a 70
261	315	20 a 70
316	360	10 Minutos

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 99.

- Si la muestra produce espuma se reduce la velocidad de destilación, normalizándola tan pronto como sea posible. Si el exceso de espuma persiste, se puede controlar la destilación aplicando la llama cerca del borde del matraz, en vez de hacerlo hacia el centro.
- Cuando la lectura en el termómetro sea de 360 °C se saca y apaga el mechero, al terminar el goteo se hace la lectura.
- Las lecturas de volumen en la probeta son a las siguientes temperaturas: 225 °C, 260 °C, 315 °C y 360 °C, con aproximación de 0,5 cm<sup>3</sup>. Anotar, si lo hubiera, el volumen de agua destilada.

- El residuo se deja enfriar en un lugar sin corrientes de aire, luego se agita y se vierte en los moldes apropiados para los ensayos que requiera.

Cálculos:

- Residuo: el porcentaje de residuo con respecto a la muestra original es de:

$$R(\%) = \frac{\text{Volumen que queda}}{\text{Volumen inicial}} * 100$$

$$R(\%) = \frac{200 - VD}{200} * 100$$

Donde:

- R = residuo asfáltico (%)
- VD = volumen destilado a 360 °C
- Porcentaje total destilado: el porcentaje destilado a 360 °C es:

$$VD(\%) = \frac{\text{Volumen destilado}}{\text{volumen inicial}} * 100$$

$$VD(\%) = \frac{\text{Volumen destilado}}{200} * 100$$

- Porcentaje de las fracciones destiladas :el porcentaje de las fracciones destiladas es con respecto al 100 % destilado:

$$VPD^{\circ C}(\%) = \frac{\text{Volumen parcial destilado a T }^{\circ C}}{\text{Volumen destilado a 360 }^{\circ C}} * 100$$

Donde:

- VPD °C = volumen destilado a la temperatura T °C.
- Observaciones
- Mediante este proceso de destilación se obtiene el disolvente y asfalto que el refinador empleó en la fabricación del *cut back*.
- Los ensayos sobre el residuo asfáltico no son necesariamente características del asfalto básico empleado originalmente para la obtención del producto, ni del residuo que pueda quedar al cabo de un tiempo dado después de la aplicación.
- Se deben corregir las temperaturas de destilación si la altura del laboratorio se encuentra a partir de 150 msnm., según tabla XXVII:

Tabla XXVII. **Temperaturas de lectura a diferentes altitudes (°C)**

Altitud msnm	Temperaturas de lectura a diferentes altitudes(°C)				
-305	192	227	263	318	362
-152	191	226	261	317	361
<b>0</b>	<b>190</b>	<b>225</b>	<b>260</b>	<b>316</b>	<b>360</b>
152	189	224	259	315	359
305	189	224	258	314	358
457	188	223	258	313	357
610	187	222	257	312	356
762	186	221	256	312	355
914	186	220	255	311	354
1067	185	220	254	310	353
1219	184	219	254	309	352
1372	184	218	253	309	351
1524	183	218	252	307	350
1676	182	217	251	306	349
1829	182	216	250	305	349
1981	181	215	250	305	348
2134	180	215	249	304	347
2286	180	214	248	303	346
2438	179	213	248	302	345

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 99.



## **4. MÉTODO MARSHALL PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASTM D-1 559**

Una mezcla asfáltica en caliente consiste en la combinación uniforme de agregados con cemento asfáltico. El concreto asfáltico es un tipo de mezcla en caliente que cumple con estrictos requisitos de control de calidad, resultando una carpeta de alta calidad, con buena calidad de agregados y bien compactada.

### **4.1. Referencias históricas**

El método Marshall para el diseño de mezclas fue desarrollado por Bruce Marshall, del *Mississippi Highway Department* alrededor de 1939. El ensayo Marshall, en su forma actual, surgió de una investigación iniciada por *The Corps of Engineers Waterways* (WES) de los Estados Unidos, en 1943.

Este método fue normalizado por la ASTM D-1559, denominado resistencia al Flujo Plástico de Mezcla Bituminosa usando el equipo Marshall (el método AASHTO T-245 es similar a la Norma ASTM D-1559, excepto en lo referente al martillo operado mecánicamente, en lugar de un martillo operado manualmente); sin embargo, actualmente la Norma ASTM D-1559 fue reemplazado por otro procedimiento denominado Superpave.

### **4.2. Características de mezcla**

Al realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente, se deben obtener las siguientes características:

- Resistencia a la deformación permanente: la resistencia a la deformación permanente es crítica al elevarse la temperatura durante los meses de verano, cuando la viscosidad del cemento asfáltico baja y la carga del tráfico es soportada por la estructura del agregado en mayor proporción. La resistencia a la deformación permanente se controla seleccionando la calidad de agregados con gradación apropiada y seleccionando el contenido asfáltico y vacíos adecuados para la mezcla.
- Resistencia a la fatiga: la mezcla no se agrietará por causa de la repetición de las cargas en un período (período de diseño).
- Resistencia al agrietamiento por bajas temperaturas: esta propiedad es importante en regiones frías que experimentan bajas temperaturas. Sin embargo, para ello se utilizan diversos aditivos.
- Durabilidad: la mezcla contiene suficiente cemento asfáltico asegurando un adecuado espesor de película rodeando las partículas de agregados; así se minimiza el endurecimiento del cemento asfáltico; durante la producción y la puesta en servicio también contribuye a esta característica. Por otro lado, la mezcla compactada no debería tener altos porcentajes de vacíos que aceleren el proceso de curado.
- Resistencia a la humedad: algunas mezclas expuestas a humedad pierden adhesión entre el agregado y el cemento asfáltico. Las propiedades de los agregados son los primeros responsables de este fenómeno, aunque algunos cementos asfálticos son más propensos a separarse que otros.
- Resistencia al patinaje: Este requisito es solamente aplicable a mezclas superficiales que sean diseñados para proporcionar la suficiente resistencia al patinaje.
- Trabajabilidad: la mezcla debe ser capaz de ser colocada y compactada con poco esfuerzo. Los problemas de trabajabilidad se presentan frecuentemente durante los trabajos de pavimentación.

### **4.3. Fundamento teórico**

El contenido óptimo de asfalto para un material de carpeta es la cantidad de asfalto que forma una membrana alrededor de las partículas de espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo, evitando que el asfalto se oxide con rapidez. Por otro lado, no debe ser tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad, es decir, deformación excesiva por flujo plástico o resistencia y no soporte las cargas de los vehículos.

### **4.4. Objetivo**

Determinar el contenido óptimo de asfalto para una mezcla específica de agregados; así como también, proporcionar información sobre las características físicas y mecánicas de mezcla asfáltica en caliente; de tal manera que sea posible establecer si cumple en lo referente al establecimiento de densidades y contenidos óptimos de vacío durante la construcción de la capa del pavimento.

El método consiste en ensayar una serie de probetas, cada una preparada con la misma granulometría y con diferentes contenidos de asfalto. El tamaño de las probetas es de 2,5 pulgadas de espesor y 4 pulgadas de diámetro. Dichas probetas se preparan siguiendo un procedimiento específico para calentar el asfalto y los agregados, mezclar y compactar.

Las probetas preparadas con el método se rompen en la prensa Marshall, determinando su estabilidad (resistencia) y deformación. Si se desean conocer los porcentajes de vacíos de las mezclas así fabricadas, se

determinarán previamente los pesos específicos de los materiales empleados y de las probetas compactadas, antes del ensayo de rotura.

#### 4.5. Gravedad específica

La gravedad específica de un agregado es útil para determinar la relación peso-volumen del agregado compactado y así calcular el contenido de vacíos de las mezclas asfálticas en caliente compactada. Por definición, la gravedad específica de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23 °C (73,4 °F). La ecuación usada es:

$$\text{Gravedad Específica} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen} * \text{Peso específico del agua}}$$

Cuando se trabaja en el SI, el peso específico del agua es 1,0 gr/cm<sup>3</sup>, convirtiendo la ecuación de gravedad específica en:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

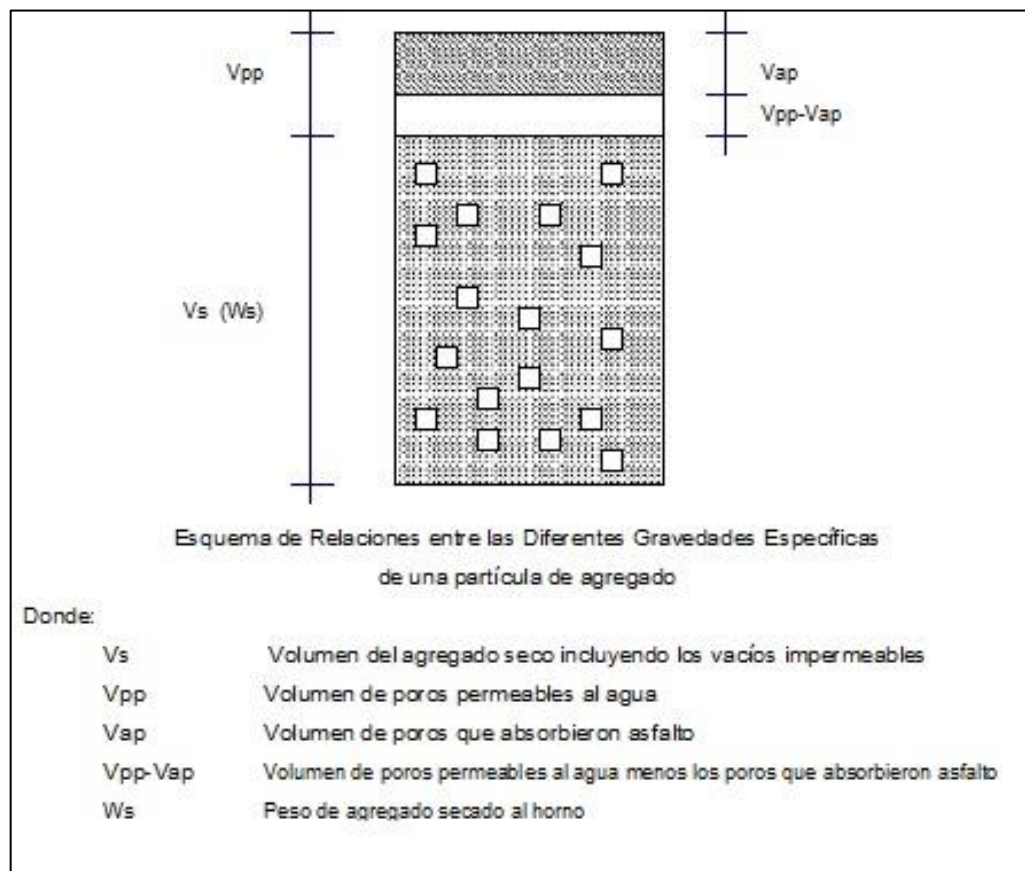
Además, existen tres diferentes gravedades específicas relacionadas con el diseño del mezclas asfálticas en caliente que definen el volumen de las partículas de agregados:

- Gravedad específica seca aparente
- Gravedad específica seca Bulk (base seca) y saturada superficialmente
- Gravedad específica efectiva



Para ilustrar los conceptos listados se utilizará esquema peso-volumen de la partícula de agregado.

Figura 16. **Esquema de relaciones entre las diferentes gravedades específicos de una película de agregado**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 104.

Nota: el agregado contiene poros impermeables que no se detallarán en las ecuaciones pero que es implícito; por eso se están considerando.

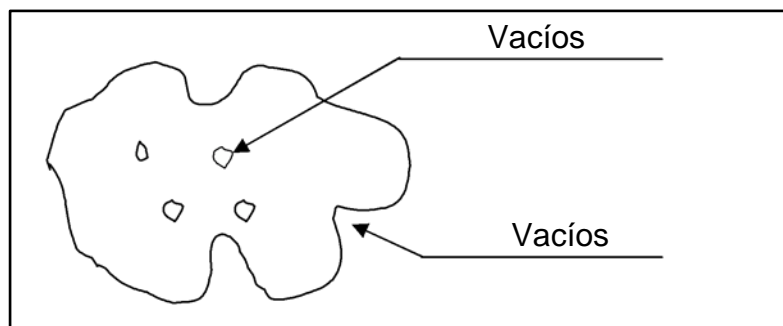
#### 4.5.1. Gravedad específica seca aparente

La gravedad específica seca aparente incluye solamente el volumen de las partículas de agregado, más los poros interiores que no han sido llenados con agua después de 24 horas de inmersión.

$$\text{Gravedad específica seca aparente} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del agregado}}$$

$$\text{Gravedad específica seca aparente } G_{sa} = \frac{W_s}{V_{sYw}}$$

Figura 17. Gravedad específica seca aparente



Fuente: elaboración propia.

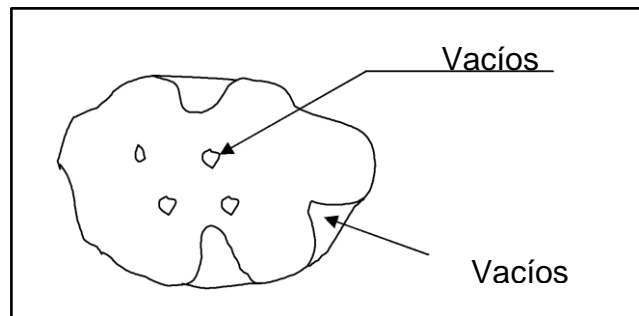
#### 4.5.2. Gravedad específica seca Bulk (base seca)

Incluye volumen total de las partículas de agregados, así como el volumen de poros llenos con agua, luego de 24 horas de inmersión.

$$G.E.B = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen de agregados más los vacíos permeables}}$$

$$\text{Gravedad específica seca Bulk} = G_{sb} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp})Y_w}$$

Figura 18. Gravedad específica seca Bulk (base seca)



Fuente: elaboración propia.

#### Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk

$$\text{Grav. Esp. Saturada superficialmente seca Bulk} = \frac{\text{Peso del agregado saturado superficialmente seco}}{\text{Volumen del agregado mas los vacios permeables}}$$

$$G_{sss^b} = \frac{W_{sss}}{(V_s + V_{pp})Y_w}$$

Donde:

$G_{SSS}^b$  = gravedad específica saturada superficialmente seca *Bulk*.

$W_{SSS}$  = peso del suelo saturado superficialmente seco.

La gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk define la relación entre el peso del agregado en su condición saturada superficialmente seca, que se obtiene secando las partículas con un paño luego de la inmersión, y el volumen del agregado más los vacíos permeables.

La gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk es usada por la *U.S. Corps of Engineers* para el diseño y control de mezclas asfálticas en caliente cuando se usan agregados con porcentajes de absorción mayores que 2,5 %.

La gravedad específica seca Bulk y seca aparente de agregados gruesos y finos se puede determinar con las Normas ASTM C-127 y C-128, respectivamente.

#### **4.5.3. Gravedad específica en agregados gruesos, ASTM C-127**

Los equipos y procedimientos para determinar la gravedad específica en agregados gruesos se encuentran en AASHTO T-85 y ASTM C-127. El método es brevemente como sigue:

- Más o menos 5 kg lavados y retenidos en la malla núm.4 (4,75 mm), se secan a peso constante.
- La muestra seca se sumerge por 24 horas en agua.

- Los agregados se sacan del agua.
- Se obtiene el peso de la muestra en su condición superficialmente seca.
- La muestra saturada superficialmente seca se coloca en una cesta de alambre y se determina el peso sumergido en agua
- La muestra se seca al horno hasta obtener peso constante.
- La gravedad específica se calcula según.

A = peso en el aire del agregado seco al horno, gramos.

B = peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco, gramos.

C = peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua, gramos.

$$\text{Gravedad específica seca aparente, } G_{sa} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Gravedad específica seca Bulk, } G_{sb} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk, } G_{ssb} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{(B - A) * 100}{A}$$

#### **4.5.4. Gravedad específica en agregados finos, ASTM C-128**

Los equipos y procedimientos para determinar la gravedad específica aparente y Bulk de los agregados finos se detallan en AASHTO T-84 y ASTM C-128. El método es brevemente como sigue:

- Aproximadamente 1 000 gramos de agregado fino se seca a peso constante.
- Se sumerge el material por 24 horas en agua.
- La muestra se extiende en una superficie plana y se expone a una corriente de aire caliente.
- La condición saturada superficialmente seca se alcanza cuando el material cae al invertirse el cono en el que la muestra del material fue suavemente compactada.
- Aproximadamente 500 gr. del material en la condición saturada superficialmente seca, se colocan en un matraz que se llena con agua.
- El agregado se saca del matraz, se seca al horno a peso constante.
- La gravedad específica se calcula de la siguiente manera:
- A = peso en el aire del agregado seco al horno, gramos.
- B = peso del matraz (picnómetro) con agua, gramos.
- C = peso del matraz (picnómetro) con el agregado y agua hasta la marca, gramos.
- D = Peso del material saturado superficialmente seco (500+10 gr).

$$\text{Gravedad específica seca aparente, } G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Gravedad específica seca Bulk, } G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$$

$$\text{Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk, } G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{D - A}{A} * 100$$

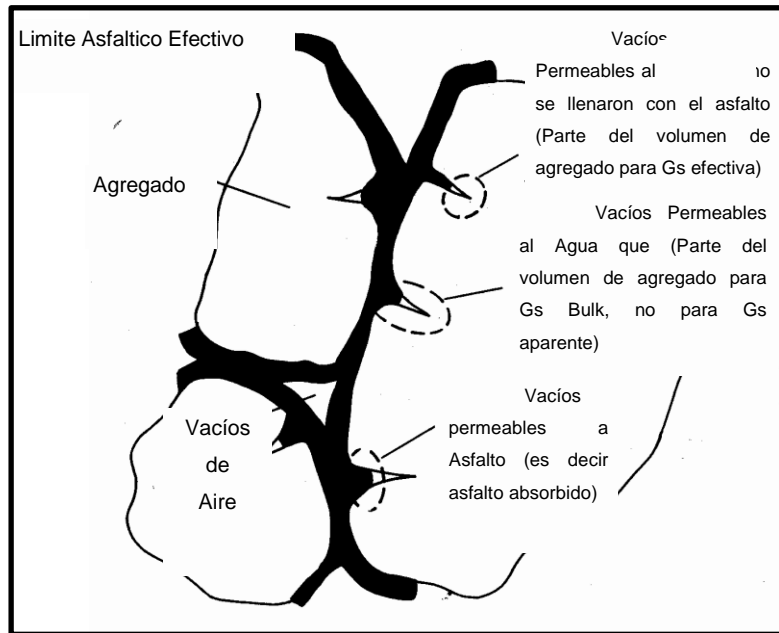
#### **4.5.5. Propiedades volumétricas de mezclas compactadas**

Las propiedades volumétricas de las mezclas compactadas proporcionan algún indicativo del probable comportamiento del pavimento en servicio; estas propiedades volumétricas son vacíos de aire ( $V_a$ ), vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos con asfalto (VFA), y contenido de asfalto efectivo ( $P_{be}$ ).

Es necesario entender las definiciones y procedimientos analíticos para la determinación de estas propiedades, de tal manera que se tenga la capacidad de seleccionar adecuadamente el diseño de mezclas. Estos conceptos se aplican tanto a mezclas compactadas como a especímenes no disturbados extraídos de campo.

Las propiedades volumétricas se aplican en todos los diseños de mezclas como superpave, SMA y las mezclas convencionales.

Figura 19. **Específicas Bulk, efectiva y aparente; vacíos de aire y contenido de asfalto efectivo en mezclas compactadas**



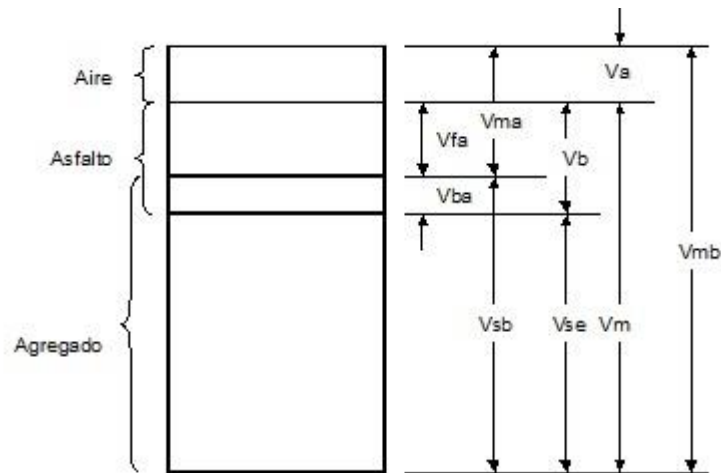
Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 108.

#### Definiciones:

- **Vacíos en el agregado mineral (VMA):** es el volumen ocupado por el asfalto efectivo y los vacíos atrapados entre los agregados recubiertos; se expresa como un porcentaje del volumen total de la muestra.
- **Asfalto efectivo ( $P_{be}$ ):** es el contenido de asfalto total de la mezcla menos la porción de asfalto que se pierde por absorción dentro de la partícula de agregado.



Figura 20. **Representación de volúmenes en especímenes de mezclas compactadas**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 109.

Donde:

$V_{ma}$  ....= volumen de vacíos en el agregado mineral

$V_{mb}$  .....= volumen Bulk de la mezcla compactada

$V_{mm}$  ...= volumen de la mezcla suelta

$V_{fa}$  .....= volumen de vacíos llenos con asfalto

$V_a$  .....= volumen de vacíos de aire

$V_b$  .....= volumen de asfalto

$V_{ba}$  .....= volumen de asfalto absorbido

$V_{sb}$  .....= volumen de agregado mineral (para gravedad específica Bulk.

$V_{se}$  .....= volumen de agregado mineral (para gravedad específica efectiva)

Vacíos de aire ( $V_a$ ): es el volumen de aire atrapado entre las partículas de agregado recubierto por asfalto, luego de la compactación.

Vacíos llenos con asfalto (VFA): es el volumen ocupado por el asfalto efectivo o el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA, ocupado por asfalto.

#### **4.5.6. Gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas, ASTM D-1188**

Parte importante del diseño de mezclas es la determinación de la gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada. Este método es útil para calcular el porcentaje de vacíos de aire en el diseño Marshall.

Los especímenes utilizados en este ensayo pueden ser mezclas asfálticas compactadas en el laboratorio o extraídos de campo.

El ensayo consiste en pesar el espécimen seco después que haya permanecido al aire, por lo menos durante una hora a la temperatura ambiente. El espécimen se lleva a su condición saturada superficialmente seca y se sumerge en agua y se pesa.

La gravedad específica Bulk ( $G_{mb}$ ) de la mezcla asfáltica compactada es igual a:

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sumergido}}$$

$G_{mb}$  = gravedad específica Bulk de mezcla compactada

$W_D$  = peso al aire del espécimen seco

$W_{SSD}$  = peso al aire del espécimen saturado superficialmente seco

$W_{sumergido}$  = peso del espécimen saturado superficialmente seco sumergido

#### 4.5.7. Gravedad específica teórica máxima, ASTM D-2041

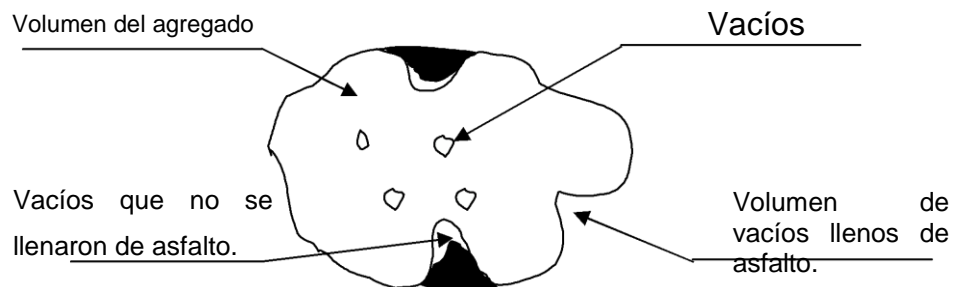
La gravedad específica teórica máxima es también llamada gravedad específica Rice, debido a que James Rice desarrolló el procedimiento de ensayo.

Este método de laboratorio determina la gravedad específica teórica máxima de mezclas asfálticas en su estado suelto. Para el ensayo las partículas de la muestra se separan teniendo cuidado de no fracturarlas. La muestra suelta se coloca en un recipiente y pesa, se le añade agua hasta cubrir la muestra y remover el aire atrapado con la bomba de vacíos. Se vierte con cuidado el agua y se seca la muestra ensayada.

Por definición la gravedad específica teórica máxima es:

$$\text{Gravedad específica teórica máxima} = \frac{\text{Peso del agregado más peso del asfalto}}{\text{Volumen del agregado más vacíos permeables no llenados con asfalto más asfalto total}}$$

Figura 21. Gravedad específica teórica máxima



Fuente: elaboración propia.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

$G_{mm}$  = gravedad específica teórica máxima, RICE.

$P_{mm}$  = peso total de la mezcla

$P_s$  = peso del agregado

$P_b$  = peso del asfalto

$G_{se}$  = gravedad específica efectiva del agregado impregnado con asfalto

$G_b$  = gravedad específica del asfalto

#### **4.5.8. Ejemplo aplicativo**

Procedimiento de análisis de mezclas compactadas

Se listan todas las mediciones y cálculos necesarios para el análisis de vacíos:

- Medir la gravedad específica Bulk del agregado grueso (AASHTO T85 o ASTM C127) y del agregado fino (AASHTO T84 o ASTM C128).
- Medir la gravedad específica del cemento asfáltico (AASHTO T228 o ASTM D70) y del Filler mineral (AASHTO T100 o ASTM D854).
- Calcular la gravedad específica Bulk de la combinación de agregados en la mezcla.
- Medir la gravedad específica teórica máxima de la mezcla suelta (ASTM D2041); también es conocida como RICE.
- Medir la gravedad específica Bulk de la mezcla compactada (ASTM D1188 o ASTM D2726).
- Calcular la gravedad específica efectiva del agregado.

- Calcular la gravedad específica teórica máxima de la mezcla para otros contenidos de asfalto.
- Calcular el porcentaje de asfalto absorbido por el agregado, Pba.
- Calcular el contenido de asfalto efectivo de la mezcla, Pbe.
- Calcular el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, VMA.
- Calcular el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada, Va
- Calcular el porcentaje de vacíos llenos con asfalto.

Las ecuaciones y métodos necesarios para determinar los parámetros se detallan a continuación.

Tabla XXVIII. **Datos básicos para una muestra de mezcla asfáltica**

Datos básicos para una muestra de mezcla asfáltica.						
Constituyentes:						
Material	Gravedad específica			Composición de mezcla		
		Bulk	AASHTO	ASTM	% por peso del total de mezcla	% por peso del total de agregado
Cemento	1.030 (Gb)		T228	D 70	5,3 (Pb)	5,6 (Pb)
Agregado		2,716 (G1)	T85	C 127	47,4 (P1)	50,0 (P1)
Agregado fino		2,689 (G2)	T84	C 128	47,3 (P2)	5,0 (P2)
Filler mineral			T 100	D 854	-,-	-,-
<b>Mezcla asfáltica</b>						
Gravedad específica bulk de la mezcla compactada, Gmb					2.442	(ASTMD 2726)
Gravedad específica teórica máxima de la mezcla, Gmm					2.535	
(ASTMD 2041)						

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 112.

Gravedad específica Bulk de la combinación de agregados: cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas (por ejemplo, grueso y fino), el valor de la gravedad específica promedio se calcula con la siguiente ecuación:

$$G = \frac{P_1 + P_2 \dots \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} \dots \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde:

G = gravedad específica promedio

G<sub>1</sub>,G<sub>2</sub>,.....,G<sub>n</sub> = valores de gravedad específica por fracción 1, 2, ..... ,n

P<sub>1</sub>,P<sub>2</sub>,.....,P<sub>n</sub> = porcentaje en pesos de la fracción 1, 2,....., n

La gravedad específica Bulk del Filler mineral es difícil de determinar. Sin embargo, si se sustituye por la gravedad específica aparente del Filler, el error es despreciable. Esta ecuación se puede aplicar para determinar la gravedad específica Bulk y aparente de la combinación de agregados.

Usando los datos del ejemplo:

$$G_{sb} = \frac{50,0 + 50,0}{\frac{50,0}{2,76} + \frac{50,0}{2,689}} + \frac{100,0}{18,41 + 18,59} = 2,703$$

Gravedad específica efectiva del agregado, G<sub>se</sub>:

El procedimiento para determinar la gravedad específica efectiva no está formado por la Norma AASHTO o ASTM. Los valores se obtienen a partir del cálculo de la gravedad específica teórica máxima de mezclas asfálticas (G<sub>mm</sub>)

ASTM D-2 041, este ensayo se realiza sobre mezclas sueltas, de esa manera se eliminan los vacíos de aire.

En general:

$$G_{sa} > G_{se} > G_{sb}$$

Por definición:

$$G_{se} = \frac{W_s}{V_{efec}}$$

El volumen efectivo es el volumen del agregado más los vacíos permeables al agua, que no se llenaron de asfalto. En el ensayo de gravedad específica teórica máxima ( $G_{mm}$ ), se mide el volumen de la mezcla suelta y el del cemento asfáltico se calcula con su peso y gravedad específica. El volumen efectivo del agregado se determina sustrayendo el volumen del cemento asfáltico del volumen total.

$$G_{se} = \frac{W_T - P_b(W_T)}{V_{TV} - V_{AC}}$$

Sustituyendo los volúmenes:

$$G_{se} = \frac{W_T - P_b(W_T)}{\frac{W_T}{G_{mm}} - \frac{W_{AC}}{G_b}}$$

Simplificando:

$$G_{se} = \frac{1 - P_b}{\frac{1}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

$W_s$  = peso del agregado.

$V_{AC}$  = volumen del cemento asfáltico total.

$V_{efec}$  = volumen efectivo.

$W_T$  = peso total de la mezcla.

$V_{TV}$  = volumen total de la mezcla suelta.

$P_b$  = contenido de asfalto del ASTM D2041, porcentaje del peso total de la mezcla.

$W_{AC}$  = peso total del cemento asfáltico.

$G_b$  = gravedad específica del cemento asfáltico.

$G_{mm}$  = gravedad específica teórica máxima de la mezcla (ASTM D2041), no incluye los vacíos de aire.

Usando la ecuación en el ejemplo:

$$G_{se} = \frac{1 - ,053}{\frac{1}{2,535} - \frac{0,053}{1,030}} = \frac{0,0947}{0,3945 - 0,0515} = 2,761$$

Gravedad específica teórica máxima de la mezcla para otros contenidos de asfalto.

En el diseño de mezclas con un agregado dado, se requiere conocer la gravedad específica teórica máxima, para cada contenido de asfalto, y de esta manera calcular el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto.



Aunque la gravedad específica teórica máxima se puede determinar para cada contenido de asfalto empleando la norma, la precisión del ensayo es mejor cuando la mezcla es cerrada. Además, es más conveniente realizar el ensayo por duplicado o triplicado.

La gravedad específica teórica máxima para otros contenidos de asfalto puede determinarse con la siguiente ecuación. Para efectos prácticos la gravedad específica efectiva del agregado es constante porque el asfalto absorbido no varía apreciablemente con las variaciones del contenido de asfalto.

Por definición:

$$G_{mm} = \frac{W_s + W_{AC}}{V_{efectivo} + V_{AC}}$$

Sustituyendo:

$$G_{mm} = \frac{W_T}{\frac{W_s}{G_{se}} + \frac{W_{AC}}{G_b}}$$

$$G_{mm} = \frac{W_T}{\frac{W_T(1 - P_b)}{G_{se}} + \frac{W_T P_b}{G_b}}$$

Simplificando y asumiendo que el peso total es el 100 %,

$$G_{mm} = \frac{1}{\frac{1 - P_b}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

$W_s$  = peso del agregado.

$V_{AC}$  = volumen del cemento asfáltico total.

$V_{efec}$  = volumen efectivo.

$W_T$  = peso total de la mezcla.

$P_b$  = contenido de asfalto del ASTM D2041, porcentaje del peso total de la mezcla.

$W_{AC}$  = peso total del cemento asfáltico.

$G$  = gravedad específica del cemento asfáltico.

$G_{se}$  = gravedad específica efectiva del agregado.

Usando los siguientes datos y la gravedad específica efectiva,  $G_{se}$ , para 4 % de contenido de asfalto ( $P_b$ ):

$$G_{mm} = \frac{1}{\frac{1-0,4}{2,761} + \frac{0,04}{1,030}} = \frac{1}{0,3477 + 0,0388} = 2,587$$

Porcentaje de asfalto absorbido,  $P_{ba}$

El porcentaje de asfalto absorbido del agregado mineral usualmente se expresa por peso del agregado más que por peso de la mezcla total. La ecuación para calcular el asfalto absorbido puede obtenerse a partir de:

$$P_{ba} = \left( \frac{W_{ba}}{W_s} \right) * 100$$

Sustituyendo, peso = volumen x gravedad específica:

$$P_{ba} = \left( \frac{V_{ba} * G_b}{W_s} \right) * 100$$

El volumen de asfalto absorbido es la diferencia entre el volumen Bulk del agregado y su volumen efectivo. Por lo tanto:

$$P_{ba} = \frac{(V_{sb} - V_{se}) * G_b}{W_s} * 100$$

Sustituyendo, volumen = peso/gravedad específica:

$$P_{ba} = \frac{\left( \frac{W_s}{G_{sb}} - \frac{W_s}{G_{se}} \right) * G_b}{W_s} * 100$$

Simplificando:

$$P_{ba} = \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} * G_b * 100$$

Donde:

$P_{ba}$  = porcentaje de asfalto absorbido por peso del agregado

$W_{ba}$  = peso de asfalto absorbido

$W_s$  = peso del agregado

$V_{ba}$  = peso de asfalto absorbido

$V_{sb}$  = volumen Bulk del agregado

$V_{se}$  = volumen efectivo del agregado

$G_b$  = gravedad específica del cemento asfáltico

$G_{se}$  = gravedad específica efectiva del agregado

$G_{sb}$  = gravedad específica Bulk del agregado

Reemplazando los datos del ejemplo:

$$P_{ba} = \frac{2,761 - 2,703}{2,703 * 2,761} * 1,030 * 100 = \left(\frac{0,058}{7,463}\right) * 1,030 * 100 = 0,8 \%$$

Porcentaje de asfalto efectivo,  $P_{be}$ : el contenido de asfalto efectivo,  $P_{be}$ , de la mezcla es el contenido total de asfalto menos la cantidad de asfalto que absorbió el agregado. Esta es la capa de asfalto que recubre exteriormente el agregado y es el contenido que gobierna el comportamiento de la mezcla asfáltica.

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba} * P_s}{100}$$

Donde:

$P_{be}$  = contenido de asfalto efectivo, porcentaje por peso total de la mezcla

$P_b$  = contenido de asfalto, porcentaje del peso total de la mezcla

$P_s$  = contenido de agregado, porcentaje por peso total de la mezcla

$P_{ba}$  = asfalto absorbido, porcentaje por peso del agregado

De los datos del ejemplo:

El porcentaje en peso de la mezcla es 5,3 % y el porcentaje en peso del agregado es 0,8 %, reemplazando:

$$P_{be} = 5,3 \% - \frac{0,8 \% * 94,7 \%}{100} = 5,3\% - 0,758\% = 4,5 \%$$

Porcentaje VMA en mezcla compactada: como ya se indicó el volumen de vacíos en el agregado mineral VMA es un factor importante para el diseño de mezclas.

La fórmula para VMA puede obtenerse considerando la relación peso-volumen, Se recomienda que el cálculo sea realizado con la gravedad específica Bulk del agregado:

$$VMA = \frac{V_T - V_{sb}}{V_T} * 100$$

Simplificando:

$$VMA = 100 - \frac{V_{sb}}{V_T} * 100$$

Sustituyendo volumen con el peso dividido entre la gravedad específica:

$$VMA = 100 - \frac{\frac{W_s}{G_{sb}}}{\frac{W_T}{G_m}} * 100$$

Sustituyendo:

$$W_s = W_T - P_b * W_T$$

Simplificando:

$$VMA = 100 * \left( 1 - \frac{G_{mb}(1 - P_b)}{G_{sb}} \right)$$

Donde:

$V_{sb}$  = volumen Bulk del agregado

$V_T$  = volumen total de mezcla compactada

$W_s$  = peso del agregado

$W_T$  = peso total de la mezcla

$G_{sb}$  = gravedad específica Bulk del agregado

$G_{mb}$  = gravedad específica Bulk de la mezcla compactada

$P_b$  = contenido de asfalto, porcentaje del peso total de la mezcla

Para el ejemplo:

$$VMA = 100 * \left( 1 - \frac{2,442(1 - 0,053)}{2,703} \right) = 100 * (1 - 0,855) = 14,4 \%$$

Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada,  $V_a$

La fórmula para calcular el porcentaje de vacíos de aire puede obtenerse a partir de (por definición):

$$V_a = \frac{V_v}{V_T} * 100$$

Sustituyendo:

$$V_v = V_T - V_{fa} - V_{sb}$$

$$V_v = \left( \frac{V_T - V_{fa} - V_{sb}}{V_T} \right) * 100$$

$$V_v = \left( 1 - \frac{V_{fa} - V_{sb}}{V_T} \right) * 100$$

Multiplicando el numerador y el denominador por  $W_T$  y simplificando:

$$V_v = \left( 1 - \frac{\frac{W_T}{V_T}}{\frac{W_T}{(V_{fa} + V_{sb})}} \right) * 100$$

Sustituyendo:

$$V_v = \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) * 100$$

Donde:

$V_a$  = vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total

$V_v$  = volumen de vacíos de aire

$V_T$  = volumen total del espécimen compactado

$V_{fa}$  = volumen de vacíos llenos con cemento asfáltico

$V_{sb}$  = volumen Bulk del agregado

$W_T$  = peso total del espécimen compactado

$G_{mb}$  = gravedad específica Bulk del espécimen compactado

$G_{mm}$  = gravedad específica teórica máxima de la mezcla

Nota: en mucha bibliografía se identifica al porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada como VTM.

$$VTM = \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) * 100$$

Para el ejemplo:

$$VTM = \left(1 - \frac{2,442}{2,535}\right) * 100 = 3,7 \%$$

Vacíos llenos con asfalto, VFA: es simplemente el porcentaje de VMA llenado con cemento asfáltico. La siguiente fórmula se usa para calcular el VFA:

$$VFA = \frac{VMA - VTM}{VMA} * 100$$

Donde:

VFA = vacíos llenos con asfalto, porcentaje de VMA.

VMA = vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen Bulk.

Va o VTM = vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

Para el ejemplo:

$$VFA = \frac{14,4 - 3,7}{14,4} * 100 = 74,3\%$$

Los métodos de laboratorio ASTM D2041 de gravedad específica teórica máxima y ASTM D1188 gravedad específica Bulk de la mezcla compactada se desarrollarán teóricamente a continuación.

Una revisión de las gravedades específicas mencionadas indica lo siguiente:



- La diferencia entre gravedad específica seca Bulk y la gravedad específica seca aparente es el volumen del agregado usado en los cálculos. La diferencia entre estos volúmenes es igual al volumen del agua absorbida en los vacíos permeables (diferencia entre el peso saturado superficialmente seco y seco al horno cuando son pesados en gramos). Ambas gravedades específicas usan el peso seco al horno del agregado.
- La diferencia en los cálculos entre la gravedad específica seca Bulk y la gravedad específica, saturado superficialmente seco, es el peso del agregado. El volumen del agregado es idéntico para ambas gravedades específicas. La diferencia en los pesos es igual al agua absorbida en los vacíos permeables (diferencia entre los pesos de los agregados saturados superficialmente seco y secado en el horno).
- Las diferencias en los cálculos entre la gravedad aparente, seca Bulk y efectiva es el volumen del agregado. Las tres gravedades específicas usan los pesos del agregado secado al horno.
- La diferencia entre la gravedad específica Bulk de la mezcla compactada y la gravedad específica teórica máxima es el volumen del agregado usado en los cálculos. La diferencia de volúmenes es porque están asociados con el volumen del aire en la mezcla compactada.

Los valores medidos de la gravedad específica compactada pueden ser verificados para una primera aproximación, usando lo siguiente:

- La gravedad específica aparente siempre era igual o mayor que la gravedad específica efectiva, el cual será siempre igual o mayor que la gravedad específica seca Bulk.

- La gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk siempre será igual o mayor que la gravedad específica seca Bulk.
- La gravedad específica teórica máxima será siempre igual o mayor que la gravedad específica compactada de la mezcla.
- La gravedad específica del agregado (aparente, efectiva, seca Bulk, saturada superficialmente,) será siempre mayor que la gravedad específica teórica máxima de la mezcla.

## **5. METODO MARHALL PARA EL DISEÑO MEZCLAS ASTM D-1559**

### **5.1. Granulometría**

Los tamaños típicos usados en el análisis granulométrico para mezclas asfálticas en caliente son: 2"; 1 ½"; 1"; ¾"; ½"; 3/8"; núm.4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200 (50,8 mm, 38,0 mm, 25,4 mm, 19,0 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, y 0,075 mm, respectivamente). La gradación de agregados algunas veces se describe como densa o bien gradada, uniformemente gradada (abierta), y gradación gruesa..

La gradación es una de las más importantes propiedades de los agregados. Este afecta casi todas las propiedades importantes de una mezcla asfáltica en caliente, incluyendo dureza, estabilidad, durabilidad, permeabilidad, trabajabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al rozamiento, y resistencia a la humedad. De esta manera, la gradación es la primera consideración en un diseño de mezclas asfálticas. Teóricamente, es razonable que la mejor gradación es la densa o bien gradada.

### **5.2. Especificaciones y tolerancias**

Las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos, edición 2001, presenta diferentes sistemas de diseño de pavimento:

- Sistema tradicional usado en los proyectos de pavimentación en Guatemala para definir las propiedades del concreto asfáltico y los procedimientos para el diseño de mezclas de concreto asfáltico usando el método Marshall.
- *SUPERPAVE (Superior performing asphalt pavement)*. Sistema para definir y medir las propiedades del asfalto y de los procedimientos para el diseño de mezclas de concreto asfáltico y su desempeño, desarrollada por el SHRP (Strategic highway research program) de la FHWA (Federal highway administration).
- Clasificación del cemento asfáltico por desempeño (*PG - Performance Grade*). Sistema de clasificación del cemento asfáltico basado en las temperaturas máxima y mínima de trabajo a las que se desempeñará la mezcla asfáltica. Dicha clasificación se indica en la norma AASHTO MP-1. Esta clasificación tiende a substituir a las anteriores en las que se clasificaba por penetración o viscosidad.

Durante la planificación de cualquier proyecto se deberá tomar en cuenta el tipo de sistema a utilizar, quedando indicados en los planos si el diseño fuese Superpave o PG-Performance; si no está indicado, se tomará como sistema tradicional, que es el tipo de sistema imperante en el país.

Se definen los términos tamaño máximo nominal como el tamiz inmediatamente superior al primer tamiz que retiene el 10 % de material durante el tamizado; y tamaño máximo como el tamiz inmediatamente superior al tamaño máximo nominal.

Una mezcla para pavimentación se clasifica de acuerdo con su tamaño máximo o tamaño máximo nominal. Las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos, edición 2001, consideran que los tamaños máximos nominales más usados en mezclas de pavimento asfáltico son 2", 1 1/2"; 1"; 3/4"; 1/2" y 3/8", cuya gradación se puede conseguir por combinación o mezclas granulométricas normalizados.

Tabla XXIX. **Porcentaje en masa que pasa el tamiz designado (AASHTO T 27 y T 11)**

Tamaño del Tamiz	Porcentaje en Masa que Pasa el Tamiz designado (AASHTO T 27 y T 11)					
	Gradación designada y tamaño máximo nominal <sup>(1)</sup>					
	A (50.8 mm)	B (38.1 mm)	C (25.4 mm)	D (19 mm)	E (12.5 mm)	F (9.5 mm)
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
63,00 mm	100					
50,00 mm	90-100	100				
38,10 mm	-	90-100	100			
25,00 mm	60-80	-	90-100	100		
1,0 mm	-	56-80	-	90-100	100	
12,50 mm	35-65	-	56-80	-	90-100	100
9,50 mm	-	-	-	56-80	-	90-100
4,75 mm	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85
2,36 mm	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67
0,30 mm	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23
0,075 mm	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 114.

Cuando se necesite agregar polvo mineral como ingrediente separado, en adición al que contiene el agregado pétreo después de su trituración, este debe consistir en: polvo de roca, cemento hidráulico, cal hidratada u otro material inerte no absorbente, que llene, según AASHTO M 17.

El polvo mineral debe llenar los requisitos de gradación, determinada según AASHTO T 37.

Tabla XXX. Requisitos de gradación para el polvo mineral

Estándar mm	Tamiz N°	Porcentaje total que pasa un tamiz de abertura cuadrada (AASHTO T 37)
0,600	30	100 %
0,300	50	95-100 %
0,075	200	70-100 %

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 114.

Tabla XXXI. Uso de granulometría para agregados gruesos en USA

Numero de tamiz	Tamaño nominal, abertura cuadrada	Cantidad que pasa por el tamices de abertura cuadrada, en el % de peso.														
		100mm (4")	90mm (3 1/2")	75mm (3")	63mm (2 1/2")	50mm (2")	37,5mm (1 1/2")	25,0mm (1")	19,0mm (3/4")	12,5mm (1/2")	9,5mm (3/8")	4,75mm (3/8")	2,36mm (N°4)	1,18mm (N°8)	300µmm (N°60)	150µmm (N°100)
1	90 a 37,5 mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	91-100		25-60		0-15		0-5							
2	63 a 37,5 mm (2 1/2" a 1 1/2")			100	90-100	35-70	0-15		0-5							
24	63 a 19,0 mm (2 1/2" a 3/4")			100	100		25-60		0-10	0-5						
3	50 a 25,0 mm (2" a 1")				100	90-100	35-70	0-15		0-5						
357	50 a 4,75 mm (2" a N°4)					95-100		35-70		10-30		0-5				
4	37,5 a 19,0 mm (1 1/2" a 3/4")					100	90-100		20-55	0-15		0-5				
467	37,5 a 4,75 mm (1 1/2" a N°4)					100	95-100		35-70		10-30	0-5				
5	25 a 12,5 mm (1" a 1/2")						100	90-100	20-55	0-10	0-5					
56	25 a 9,5 mm (1" a 3/8")						100	90-100	40-75	15-35	0-15	0-5				
57	25 a 4,75 mm (1" a N°4)						100	95-100		25-60		0-10	0-5			
6	19 a 9,5 mm (3/4" a 3/8")							100	90-100	20-55	0-15	0-5				
67	19 a 4,5 mm (3/4" a N°4)							100	90-100		20-55	0-10	0-5			
68	19 a 2,36 mm (3/4" a N°8)							100	90-100		30-65	5-25	0-10	0-5		
7	12,5 a 4,75 mm (1/2" a N°4)								100	90-100	40-70	0-15	0-5			
78	12,5 a 2,36 mm (1/2" a N°8)								100	90-100	40-75-5	5-25	0-10	0-5		
8	9,5 a 2,36 mm (3/8" a N°8)									100	85-100	10-30	0-10	0-5		
89	9,5 a 1,18 mm (3/8" a N°16)									100	90-100	20-55	5-30	0-10	0-5	
9	4,75 a 1,18 mm (N°4 a N°16)										100	85-100	10-40	0-10	0-5	
10	4,5 mm (N°4 a 0")											100	85-100			10-30

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 116.

### 5.3. Combinación de agregados

Por diferentes razones se deben realizar combinaciones de agregados, de manera que cumplan con las especificaciones de gradación. Son diferentes los métodos que se puedan emplear para tal fin, entre ellos está la dosificación de los agregados por peso y por métodos gráficos.

#### 5.3.1. Dosificación de los agregados por peso

La fórmula básica es:

$$P = Aa + Bb + Cc \dots \text{Etc.}$$

Donde:

P = porcentaje promedio de las especificaciones en un tamiz

A, B, C, = porcentaje de material que pasa un tamiz para la granulometría.

a, b, c, = proporción de agregados A, B, C, ... usado en la combinación y donde el total es 1.

#### 5.3.2. Dosificación por métodos gráficos

$$P = Aa + Bb$$

Sabiendo que  $a+b = 1$ ,  $a = 1-b$ ; y reemplazando en la ecuación, se tiene:

$$b = \frac{P - A}{B - A}$$

$$a = \frac{P - B}{A - b}$$

#### 5.4. Calidad

La combinación de agregados para obtener la gradación exigida por las especificaciones es, principalmente un trabajo de tanteo. Además de este requisito, los agregados para capa de base y capa de superficie, deben cumplir ciertos requisitos de calidad.

Requisitos para el cemento asfáltico:

El tipo, grado, y especificación del cemento asfáltico o del cemento asfáltico modificado con polímeros a usar, debe ser uno de los establecidos en la tabla XXXII.

Tabla XXXII. Tipo y grado del cemento asfáltico

TIPO Y GRADO DEL CEMENTO ASFÁLTICO	ESPECIFICACIÓN
Graduación por viscosidad: <ul style="list-style-type: none"><li>• AC-10</li><li>• AC-20</li><li>• AC-40</li></ul>	AASHTO M 226
Graduación por penetración: <ul style="list-style-type: none"><li>• 40-50</li><li>• 60-70</li><li>• 85-100</li><li>• 120-150</li></ul>	AASHTO M 20
Graduación PG: <ul style="list-style-type: none"><li>• 64-22</li><li>• 70-22</li><li>• 76-22</li><li>• 82-22</li></ul>	AASHTO MP 1

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 117.



Requisitos para la mezcla asfáltica: la mezcla de material pétreo y material bituminoso, debe llenar los requisitos del método de diseño establecido en las tablas XXXIII y XXXIV o según corresponda dependiendo de las especificaciones.

Tabla XXXIII. **Método de diseño y valores límites**

MÉTODO DE DISEÑO <sup>(1)</sup>	VALORES LÍMITES	
MARSHALL (AASHTO T 245)	MÍNIMO	MÁXIMO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura de compactación de pastilla para producir una viscosidad de</li> </ul>	0.25 Pa-s (250 cS)	0.31 Pa-s (310 cS)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de golpes de compactación en cada extremo del espécimen</li> </ul>	75	75
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilidad</li> </ul>	5,338 N (1,200 libras)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluencia en 0.25 mm (0.01 pulg.) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tránsito &lt; 10<sup>6</sup> ESAL</li> <li>• Tránsito &gt; 10<sup>6</sup> ESAL</li> </ul> </li> </ul>	8	16 14
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relación estabilidad/fluencia (lb./0.01 pulg.)</li> </ul>	8 120	275 5
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada</li> </ul>	3 Tabla 5.6	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de vacíos en agregado mineral (VAM)</li> </ul>	65	78 75
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de vacíos rellenos con asfalto <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tránsito &lt; 10<sup>6</sup> ESAL</li> <li>• Tránsito &gt; 10<sup>6</sup> ESAL</li> </ul> </li> </ul>	65 0.6	1.6
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relación finos/bitumen</li> </ul>	80 %	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilidad a la humedad AASHTO T 283 resistencia retenida</li> </ul>	95 %	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Partículas recubiertas con bitumen, para definir tiempo de mezclado, AASHTO T 195</li> </ul>		
(1) El porcentaje de vacíos con aire se basa en AASHTO T 166, AASHTO T 209 y AASHTO T 269.		

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 120.

Tabla XXXIV. **Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VAM)**

Tamaño nominal máximo del agregado en mm	Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VAM)		
	Marshall		
	3% <sup>(1)</sup>	4% <sup>(1)</sup>	5% <sup>(1)</sup>
9,50	14	15	16
12,50	13	14	15
19,00	12	13	14
25,00	11	12	13
37,50	10	11	12
50,00	9,5	10,5	11,5

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 121.

## **6. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS Y COMPACTACION DE MUESTRAS**

### **6.1. Aplicación**

El siguiente procedimiento es aplicable solamente a mezclas asfálticas en caliente, usando cemento asfáltico con agregados no mayores de 2,54 cm (1"); el tamaño del molde Marshall no debe exceder el diámetro de 101,6 mm (4"). Cuando el tamaño de la partícula excede los 2,5 cm (1"), se emplean moldes de 152,4 mm (6"), realizándose modificaciones al procedimiento que aquí se describe.

Este método es usado tanto en el diseño de mezclas en laboratorio como en el control de producción de mezclas asfálticas.

### **6.2. Equipos de laboratorio**

El conjunto básico está formado por:

- Molde de compactación: consiste en una placa de base plana, molde y collar de extensión cilíndricos. El molde tiene un diámetro interior de 101,6 mm (4") y altura aproximada de 76. mm (3"); la placa de base plana y el collar son intercambiables. Es conveniente que el molde esté provisto de agarraderas.

- Martillo de compactación: está hecho con base en la plana circular de apisonado de 98,4 mm (3 7/8") de diámetro, equipado con un pisón de 4,54 kg (10 lb.) de peso total, cuya altura es de caída de 457,2 mm (18").
- Pedestal de compactación: pieza de madera de base cuadrada de 200,3 mm de lado y 457,2 mm de altura (8"x8"x18"), provista en su cara superior de una platina cuadrada de acero de 304,8 mm de lado por 25,4 mm de espesor (12"x12"x1"), firmemente sujeta en la misma. El conjunto se deberá fijar firmemente a una superficie de concreto, de tal manera que la platina de acero quede horizontal.
- Extractor de muestras de asfaltos: para extraer la probeta compactada del molde, es de acero, en forma de disco con diámetro de 100 mm (3,95") y 12,7 mm (1/2") de espesor.
- Soporte para molde o portamolde: dispositivo con resorte de tensión diseñado para sostener rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal.
- Mordaza: consiste en dos segmentos cilíndricos, con un radio de curvatura interior de 50,8 mm (2") de acero enchapado para facilitar su limpieza. El segmento inferior que terminará en una base plana, ira provisto de dos varillas perpendiculares a la base y que sirven de guía al segmento superior. El movimiento de este segmento se efectuará sin rozamiento apreciable.
- Medidor de deformación: consiste en un deformímetro de lectura final fija y dividido en centésimas de milímetro, firmemente sujeto al segmento superior y cuyo vástago se apoyará, cuando se realiza el ensayo, en una palanca ajustable acoplada al segmento inferior.
- Prensa: para la rotura de las probetas será mecánica con una velocidad uniforme de desplazamiento de 50,8 mm/min. Puede tener un motor eléctrico unido al mecanismo del pistón de carga.

- Medidor de estabilidad: la resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 20 kN (2 039 kgf) de capacidad, con una sensibilidad de 50 N (5 kgf) hasta 5 kN (510 kgf) y 100 N (10 kgf) hasta 20 kN (2 039 kgf). Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0,001 mm.
- Discos de papel filtrante de 4 pulg.
- Horno: deberá estar provisto de control termostático, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 3 °C (5 °F) se emplea para calentar los agregados, material asfáltico, conjunto de compactación y muestra.
- Baño: el baño para agua de 150 mm (6") de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener la temperatura a 60° ± 1 °C (140° ± 1,8 °F), deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante, para mantener las probetas por lo menos a 50,8 mm (2") sobre el fondo del tanque.
- Recipientes de dos litros de capacidad para calentar los agregados y para mezclar el asfalto y agregado.
- Tamices: conformado por: 50 mm (2"), 37,5 mm (1 1/2"), 25 mm (1"), 19,0 mm (3/4"), 12,5 mm (1/2"), 9,5 mm (3/8"), 4,75 mm (núm. 4), 2,36 mm (núm. 8), 300 µm (núm. 50), 75 µm (núm. 200).
- Termómetros blindados: de 10 °C a 232 °C (50 °F a 450 °F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 3 °C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará termómetro con escala de 20 °C a 70 °C y sensibilidad de 0.2 °C (68 °F a 158 °F + 0,4 °F).
- Balanza para pesar agregado y asfalto de 5 kg. de capacidad, y sensibilidad de un 1 gr.
- Parafina.
- Pirex de 500 cm<sup>3</sup>.

- Guantes de cuero para manipular el equipo caliente.
- Crayones para identificar las probetas.
- Bandejas taradas.
- Espátulas.

Las figuras de la 22 a la 24 muestran el equipo básico que se necesita para el ensayo Marshall.

Figura 22. **Máquina de estabilidad Marshall con anillo de carga**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 122.

Figura 23. **Molde y collar de extensión del molde compactación y pedestal de compactación**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 121.

Figura 24. **Para extraer la probeta compactada del molde se requiere el extractor de muestras de asfaltos**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 123.

### **6.3. Procedimientos previos**

Se deben realizar los siguientes pasos antes de iniciar la mezcla:

#### **6.3.1. Paso A: evaluación de agregados**

- Realizar los ensayos de abrasión en la máquina de Los Ángeles, resistencia a los sulfatos, equivalentes de arena, presencia de sustancias tóxicas (destructivas), caras fracturadas y partículas planas alargadas.
- Si el agregado pasó los controles de calidad, se debe realizar la combinación de agregados, gravedad específica y absorción. El diseño de mezcla debe proporcionar la granulometría que se encuentra dentro de los rangos de diseño.
- Gravedad específica Bulk del agregado grueso (AASHTO T85 o ASTM C127) y del agregado fino (AASHTO T84 o ASTM C128). Calcular la gravedad específica de la combinación de agregados.

#### **6.3.2. Paso B: evaluación del cemento asfáltico**

- Determinar el grado apropiado de cemento asfáltico a emplear, según el tipo y ubicación geográfica del proyecto; verificar que las propiedades especificadas sean aceptables.
- Calcular la gravedad específica del cemento asfáltico (AASHTO T228 o ASTM D70) y del Filler (AASHTO T100 o ASTM D854) y graficar la viscosidad versus temperatura (carta de viscosidad).
- Determinar la temperatura de mezcla y compactación de la carta de viscosidad.



- La temperatura a la cual se calentará el cemento asfáltico para la mezcla, se selecciona en el rango de la viscosidad de  $170\pm 20$  centistokes ( $1 \text{ centistoke} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$ ).
- La temperatura de compactación se encuentra en el rango de la viscosidad de  $280\pm 30$  centistokes.

### **6.3.3. Paso C: preparación de los especímenes Marshall**

- Secar los agregados los agregados hasta obtener peso constante entre  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ , separarlos por tamizado en las mallas sugeridas:

1" a  $\frac{3}{4}$ "

$\frac{3}{4}$ " a  $\frac{3}{8}$ "

$\frac{3}{8}$ " a núm. 4

Núm. 4 a núm. 8

Pasa núm. 8

Fijada la composición en tanto por ciento de cada árido para obtener la granulometría total de la mezcla que se desea, se calcula el peso necesario de cada uno de ellos para realizar el amasado de 18 especímenes, aproximadamente 1 150 gr. en cada uno, un total de 22 kg y un galón de cemento asfáltico.

- Pesar los agregados para cada espécimen por separado y calentarlos a la temperatura de mezcla. El peso total de agregado se determinará en el siguiente paso.
- Generalmente se prepara un espécimen de prueba, medir la altura del mismo ( $h_1$ ) y verificar la altura requerida del espécimen Marshall:  $63,5 \pm 5,1$  mm ( $2,5 \pm 0,20$  pulg.). Si el espécimen está fuera del rango, ajustar la cantidad de agregados con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{h}{h_1} * 1150 \text{ gr}$$

Donde:

Q = peso del agregado para un espécimen de 63,5 mm (2,5") de altura

h = altura requerida, que será 63,5 mm o 2,5"

$h_1$  = altura del espécimen de prueba, mm (pulgadas)

- Calentar a la temperatura de mezcla la suficiente cantidad de asfalto para preparar 18 especímenes; tres especímenes compactados por cada porcentaje de contenido de asfalto, los incrementos porcentuales de asfalto son de 0,5 % con por lo menos dos contenidos antes y después del óptimo contenido de asfalto. A tres mezclas cerca al óptimo contenido de humedad, se les mide la gravedad específica Rice o máxima densidad teórica (TMD). (Nota: algunas agencias en los Estados Unidos solicitan gravedades específicas Rice para todos los contenidos de asfalto. A pesar de todo, la precisión del ensayo es mejor cuando la mezcla está cerca del óptimo contenido de asfalto. Es preferible medir la gravedad específica Rice por triplicado.

Luego de promediar los resultados de los tres ensayos y calcular la gravedad específica efectiva de los agregados, la máxima gravedad específica para todos los contenidos de asfalto se determinan usando las fórmulas sencillas ya explicadas.

Nota: no mantener el ligante por más de una hora a la temperatura de mezcla ni emplear ligante bituminoso recalentado. Durante el período de calentamiento del ligante se debe agitar frecuentemente dentro del recipiente para evitar los sobrecalentamientos.

- De acuerdo con las especificaciones se determina el número de golpes por cara para la compactación Marshall.
- El recipiente en el que se realizará la mezcla será manchado con una mezcla de prueba para evitar la pérdida de ligante y finos adheridos al recipiente, se limpiará solamente arrastrando con una espátula todo el material posible. Colocar la cantidad de agregado requerido en esa vasija y añadir la cantidad de asfalto caliente necesaria por peso, para el porcentaje de cemento asfáltico de la mezcla deseada.

$$\% \text{ Cemento asfáltico} = \frac{\text{Peso Cemento Asfáltico}}{\text{Peso de los agregados} + \text{Peso Cemento Asfáltico}}$$

- Mezclar el cemento asfáltico y agregados hasta que éstos estén totalmente cubiertos. La mezcla puede hacerse manual o mecánicamente. Cuando la mezcla requiera *filler*, este se agregará luego de que los agregados estén cubiertos por el ligante.

- Verificar la temperatura de los materiales recién mezclados, si está sobre la temperatura de compactación, dejar enfriar; si está por debajo, eliminar el material y preparar una nueva muestra.
- Se coloca dentro del molde y la base del martillo compactador limpios, un disco de papel filtrante de 10 cm de diámetro. Se calientan en el horno o en un baño de agua a una temperatura comprendida entre los 93° a 149 °C. Verter la mezcla y emparejarla con una espátula caliente 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior. Limpiar el material del collar y montura dentro del molde, de tal manera que el medio sea ligeramente más alto que los bordes. Fijar el molde y la base en el pedestal. Colocar el martillo precalentado dentro del molde, y aplicar el número de golpes según las especificaciones, la altura de caída del martillo es de 18" (457 mm).
- Mantener el eje del martillo de compactación perpendicular a la base del molde durante la compactación.
- Retirar el molde de la base. Colocar un papel filtrante en la superficie e invertirlo de tal manera que, la cara superficial se encuentre abajo. Reemplazar el collar del molde y fijelar junto con la base en el pedestal. Aplicar el número de golpes especificados.
- Después de la compactación remover la base y colocar el molde y collar sobre el extractor de muestras. Con el molde y el collar de extensión hacia arriba en la máquina de ensayo, aplicar presión y forzar el espécimen dentro del collar de extensión, levantar el collar del espécimen. Cuidadosamente transferir el espécimen a una superficie plana, dejarlo de pie para que repose de 12 a 24 horas a temperatura ambiente, identificarlos con códigos alfanuméricos usando crayones.
- Determine la gravedad específica Bulk de cada espécimen, tan pronto como las probetas compactadas se han enfriado a la temperatura

ambiente, según AASHTO T166. Se determina calculando la relación entre su peso al aire y su volumen.

- Pesarse el espécimen al aire y sumergir la muestra en agua, dejar saturar por unos minutos, pesarse la muestra en su condición saturada superficialmente seca (SSD) en el agua.
- Sacar la muestra del agua, secar el exceso de agua y pesarse en su condición SSD en el aire. Calcular el volumen restando el peso del espécimen SSD en el aire y el del espécimen SSD sumergido. La fórmula empleada será:

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sumergido}}$$

$G_{mb}$  = gravedad específica Bulk de mezcla compactada

$W_D$  = peso al aire del espécimen seco

$W_{SSD}$  = peso al aire del espécimen saturado superficialmente seco

$W_{sumergido}$  = peso del espécimen saturado superficialmente seco sumergido

- Se determina el peso específico Bulk promedio de todas las probetas hechas con el mismo contenido asfáltico. Los valores variantes no se incluyen en el cálculo, para lo cual se tendrá en cuenta el siguiente rango de variación respecto al valor medio.

Peso específico Bulk  $\pm 1\%$

- Se emplea cuando la textura superficial de las probetas es cerrada e impermeable. El volumen de la probeta se obtiene restando el peso de la probeta en el aire y el peso de la probeta sumergida en agua sin haber recubierto su superficie parafinada. La fórmula empleada será:

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_D - W_{sub}}$$

$G_{mb}$  = gravedad específica Bulk de la muestra compactada

$W_D$  = peso del espécimen al aire

$W_{sub}$  = peso del espécimen sumergido

- Calcular la gravedad específica Rice en las mezclas asfálticas en caliente ( $G_{mm}$ ) de acuerdo a la norma AASHTO T209; su valor se emplea en el cálculo de los vacíos. Si la mezcla contiene agregados absorbentes se recomienda colocarla en el horno (manteniéndola a la temperatura de mezcla) por cuatro horas, de tal manera que el cemento asfáltico sea absorbido completamente por el agregado antes del ensayo. Mantener la mezcla en un recipiente tapado mientras se encuentra en el horno. Si el ensayo se hace por triplicado en la mezcla que contiene un porcentaje cerca al óptimo contenido de asfalto, promediar los tres resultados; calcular la gravedad específica efectiva de los agregados.
- Si se realiza el cálculo de la gravedad específica Rice en cada una de las muestras a diferentes contenidos de asfalto; calcular la gravedad específica efectiva de agregados en cada caso. Calcular el promedio de las gravedades específicas efectivas y el promedio de las gravedades específicas Rice.
- En ausencia de datos proporcionados por el método Rice, la gravedad específica puede calcularse con una relación matemática que considera las gravedades específicas Bulk y aparentes de los componentes de la mezcla:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ gruesos}}{A} + \frac{\% \text{ finos}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$$

Siendo:

$$A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \text{ para el agregado grueso}$$

$$B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \text{ para el agregado fino}$$

$$C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \text{ para el Filler}$$

Donde:

$G_{sb}$  = gravedad específica Bulk

$G_{sa}$  = gravedad específica aparente

#### 6.3.4. Paso D: densidad y vacíos de los especímenes

Se refiere a las relaciones peso-volumen, completando los cálculos con los siguientes pasos:

- Para cada espécimen, usar la gravedad específica Bulk ( $G_{mb}$ ) y gravedad específica Rice de la mezcla ( $G_{mm}$ ). Calcular el porcentaje de vacíos en el total de la mezcla, VTM.

$$VTM = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) * 100$$

- Calcular la densidad de cada espécimen Marshall como sigue:

$$\text{Densidad (g/cm}^3\text{)} = G_{mb} * \delta_w$$

- Calcule el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA, para cada espécimen Marshall usando la gravedad específica Bulk en los

agregados ( $G_{sb}$ ), la gravedad específica Bulk de la mezcla compactada ( $G_{mb}$ ), y el contenido de asfalto por peso de mezcla total ( $P_b$ ).

$$VMA = 100 * \left( 1 - \frac{G_{mb}(1 - P_b)}{G_{sb}} \right)$$

- Calcular el porcentaje de vacíos llenos de asfalto para cada espécimen Marshall usando el VTM y VMA como sigue:

$$VFA = \left( \frac{VMA - VTM}{VMA} \right) * 100$$

#### **6.3.5. Paso E: estabilidad Marshall y ensayo de flujo**

- Calentar el agua del baño a 140 °F (60 °C) y colocar los especímenes a ser ensayados por un período de 30 a 40 minutos.
- Los especímenes se ubicarán de manera escalonada para que todos los especímenes sean calentados el tiempo especificado antes de ser ensayados.
- Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas de rotura y se engrasan las barras guía con una película de aceite de manera que la mordaza superior se deslice libremente. Luego de calentarlos el tiempo necesario, se irán sacando uno a la vez, quitarles el exceso de agua con una toalla y colocarlos rápidamente en la mordaza Marshall.
- Colocar el medidor de flujo sobre la barra guía marcada y comprobar la lectura inicial. Aplicar la carga a una velocidad de deformación de dos pulg/min (50,8 mm/minuto) hasta que ocurra la falla, es decir cuando se



alcanza la máxima carga y luego disminuye, según se lea en el dial respectivo.

- El punto de rotura se define como la carga máxima obtenida y se registra como el valor de estabilidad Marshall, expresado en Newtons (lbf). Mientras se está determinando la estabilidad se mantiene firmemente el medidor de deformación en su posición sobre la barra guía; liberarse cuando comience a decrecer la carga y anote la lectura. Este será el valor del “flujo” para la muestra, expresado en centésimas de pulgada.
- Repetir los dos pasos anteriores hasta que todos los especímenes sean ensayados.
- El tiempo total transcurrido entre sacar el especímenes del baño y el tiempo para aplicar la carga es de 60 segundos como máximo.
- El tiempo total en el agua de baño para cada juego de tres especímenes es entre 30 a 40 minutos.

#### **6.3.6. Paso F: tabulación y gráfico de los resultados de ensayo**

- Tabular los resultados de ensayo, corregir los valores de estabilidad para cada espécimen (ASTM D1559), y calcular el promedio de cada tres juegos de especímenes.
- Graficar:
  - Contenido de asfalto *versus* densidad (por unidad de peso).
  - Contenido de asfalto *versus* estabilidad Marshall.
  - Contenido de asfalto *versus* flujo.
  - Contenido de asfalto *versus* porcentaje de vacíos, VTM.
  - Contenido de asfalto *versus* porcentaje de vacíos del agregado mineral, VMA.

- Contenido de asfalto *versus* porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA.
- Revisar la tendencia de cada gráfico.
- Estabilidad *versus* el contenido de asfalto puede tener dos tendencias.
- La estabilidad crece a medida que el contenido de asfalto se aumenta, alcanza un pico y luego decrecer.
- La estabilidad decrece a medida que el contenido de asfalto se aumenta y no presenta un pico. Esta curva es común en mezclas asfálticas en caliente recicladas.
- El flujo crece con el incremento del contenido de asfalto.
- La densidad crece con el incremento de asfalto, alcanzar un pico, y luego decrece. La densidad pico usualmente ocurre a un contenido de asfalto mayor que el de estabilidad pico.
- El porcentaje de vacíos de aire decrecerá con el crecimiento del contenido de asfalto.
- El porcentaje de vacíos del agregado mineral, VMA, decrece con el crecimiento del contenido de cemento asfáltico, alcanza un mínimo, y luego crece.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA, crece con el incremento de asfalto.

### **6.3.7. Paso G: determinación del óptimo contenido de asfalto.**

- Los siguientes dos métodos son comúnmente empleados para determinar el óptimo contenido de asfalto de los gráficos:

Método 1: procedimiento NAPA, en TAS 14

- Determinar el contenido de asfalto correspondiente a la medida especificada del contenido de vacíos (4 % típicamente). Este es el óptimo contenido de asfalto.
- Determinar las siguientes propiedades en el óptimo contenido de asfalto de los gráficos:
  - Estabilidad Marshall
  - Flujo
  - Porcentaje de vacíos del agregado mineral, VMA.
  - Comparar cada uno de estos valores de especímenes y si todos tiene el rango especificado, entonces el óptimo contenido de asfalto determinado es satisfactorio. Si algunas de estas propiedades está fuera del rango de especificaciones, la mezcla debe ser rediseñada.

#### Método 2: método del Instituto del Asfalto en MS-2

- Determinar: contenido de asfalto en la estabilidad máxima , asfalto en la densidad máxima, asfalto en el punto medio del rango de volúmenes de aire especificado (4 % típicamente).
- Promediar los tres contenidos de asfaltos seleccionados.
- Comparar los valores del paso tres, con criterio para ser aceptado según la tabla XXXV:

Relaciones entre vacíos en el agregado mineral y tamaño máximo con el criterio de carga sobrepuesta.

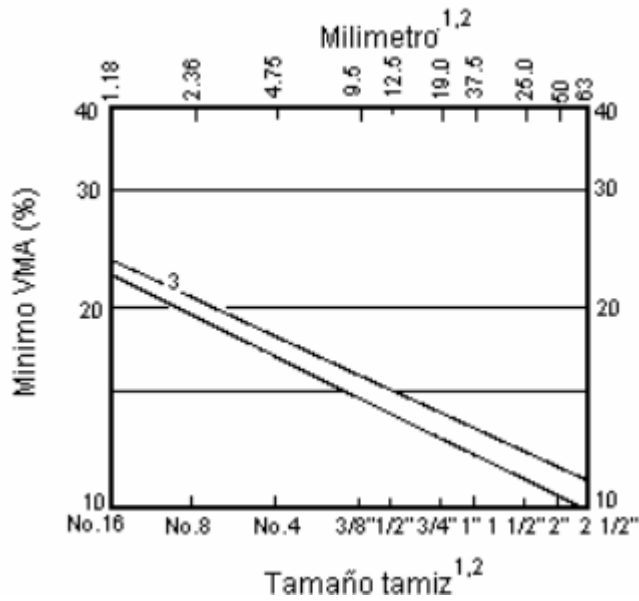
Tabla XXXV. **Criterio mezcla del método Marshall**

Criterio Mezclas Método Marshall	Tráfico					
	Ligero		Medio		Pesado	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Compactación N° golpes/cara	35		50		75	
Estabilidad, lb(N)	750 (333)		1200 (5333)		1800 (8000)	
Flujo 0.01 Pulg (0.25mm)	8	18	8	16	8	14
Vacios de aire, %	3	5	3	5	3	5
Vacios en el agregado mineral	Ver el gráfico siguiente					

*Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types. The Asphalt Institute, MS-2, May 1984*

Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 152.

Figura 25. **Medición**



Fuente: MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayos para pavimentos*. p. 153.

- Encontrar el criterio de falla para alguna propiedad requerida es un trabajo especial para determinar la mezcla que será empleada en la construcción. Si el criterio VMA no puede hallarse, la gradación de los agregados debe modificarse y volver a diseñar la mezcla.



## CONCLUSIONES

1. El diseño de la mezcla asfáltica en caliente con el método Marshall fue realizado utilizando normas y especificaciones; en este trabajo de graduación se realizó la comparación usando Filler natural (limo no plástico) y procesado (polvo de roca); el Filler tiene como función endurecer la mezcla asfáltica, esto significa que existirá una reducción en su deformación producida por las cargas del tránsito; esto lo hará más resistente tanto a la penetración como a los cambios de temperatura y a la penetración de agua; al diseñar la mezcla asfáltica en caliente con el Filler procesado y el Filler natural y realizando los ensayos correspondientes, se puede observar que con el Filler procesado será mejor que con el Filler natural, tanto en resistencia como en costos.
2. Para la construcción de carreteras se deben utilizar los materiales adecuados, verificando las normas de calidad de los mismos y su adecuada ejecución, apegándose a las normas y siguiendo las especificaciones técnicas y especiales para la construcción de carreteras y puentes.
3. Es sumamente importante considerar cada uno de los aspectos desde el diseño, ejecución y supervisión de la mezcla asfáltica en caliente.
4. Una mezcla asfáltica en caliente consiste en la combinación uniforme de agregados con cemento asfáltico, hay varias características en la mezcla que deben considerarse como la resistencia a la deformación

permanente, resistencia a la fatiga, y a bajas temperaturas, durabilidad, resistencia a la humedad, buena trabajabilidad, entre otras.

5. Cuando se diseña una mezcla asfáltica en caliente por medio del método Marshall se busca una mezcla adecuada por medio de su análisis, estabilidad, fluencia, densidad y vacíos.
6. Una de las virtudes del método Marshall es la importancia que se asigna a las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico. Este análisis garantiza que la mezcla sea durable.
7. El diseño de la mezcla seleccionado para ser usado en un pavimento, generalmente, aquel que cumple de la manera más económica y que sea durable, considerando todos los criterios establecidos; sin olvidar su fin principal que es mejorar el factor de seguridad en la red vial del país.
8. El Filler tiene un papel fundamental en el comportamiento de las mezclas asfálticas debido a que forma parte del esqueleto mineral y soporta las tensiones por rozamiento interno o por contacto entre las partículas. Rellena los vacíos del esqueleto de agregados gruesos y finos, por lo tanto impermeabiliza y densifica el esqueleto. Sustituye parte del asfalto que de otra manera sería necesario para conseguir unos vacíos en mezcla suficientemente bajos. Proporciona puntos de contacto entre agregados de mayor tamaño y los encaja limitando sus movimientos, aumentando así la estabilidad del conjunto. Facilita la compactación, actuando a modo de rodamiento entre los agregados más gruesos.



## RECOMENDACIONES

1. Cuando los ligantes asfálticos son poco viscosos, de alta penetración, provocan que las mezclas asfálticas sean muy susceptibles a las deformaciones plásticas o a la formación de roderas; por eso se recomienda utilizar cementos asfálticos más duros (mayor viscosidad) en los climas cálidos para la construcción de pavimentos.
2. Los especímenes probados en laboratorio tienen que ser compactados con densidades comparables a la que van a tener las capas de pavimento en el sitio donde recibirán las cargas del tráfico.
3. La temperatura tiene un efecto muy significativo en la formación de los ahuellamientos, por consiguiente las temperaturas empleadas en los ensayos son relativamente altas para reproducir las condiciones más desfavorables a las que estará sometido el pavimento.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BARRIOS CORONADO, Jaime A. *El método de Kani en el análisis de Estructuras*. Trabajo de graduación de Ing. Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1973. 150 p.
2. Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para construcción de puentes y carreteras 1975*. Guatemala: DGC, 2001. 100 p.
3. National Center for Asphalt Technology. *Hot Mix asphalt materials, mixture design and construction*. 1996. 92 p.
4. *Manual básico de emulsiones asfálticas*. Manual de Series núm. 19. The Asphalt Institute and Asphalt Emulsion Manufacturers Association. 75 p.
5. *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. Asphalt Institute Núm. 22(MS-22) Estados Unidos: 2010. 110 p.
6. MINAYA GONZALES, Silene. *Manual de laboratorio ensayo para pavimento*. Guatemala: 2004. 250 p.



# ANEXOS

## Anexo 1. Diseño Marshall de concreto asfáltico



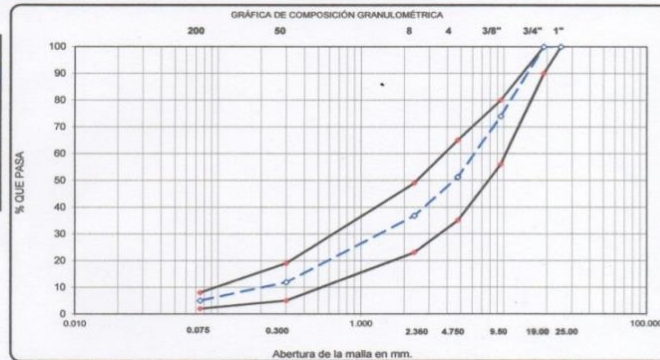
**SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.**  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

### DISEÑO MARSHALL DE CONCRETO ASFÁLTICO

**PROYECTO:** "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"  
**TRAMO:** "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.  
**EMPRESA:** SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.  
**INFORME:** DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)  
**FECHA INFORME:** 12 de Octubre de 2,010

DATOS DEL PÉTREO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	MEZCLA DE AGREGADOS DE 3/4" A 0"
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO:	TRITURACIÓN
	CLASE DE DEPÓSITO MUESTREADO:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"
	UBICACIÓN DEL BANCO DONDE PROCEDE EL MATERIAL PÉTREO:	RÍO LOS ESCLAVOS


GRANULOMETRÍA PRÁCTICA T.M.A. 19 MM. (3/4")		
MALLA	% PASA	ESPECIF.
1"	100.0	100
3/4"	100.0	90-100
3/8"	74.0	56-80
No. 4	51.2	35-65
No. 8	36.8	23-49
No. 50	11.9	05-19
No. 200	5.0	02-08



No.	AGREGADO	TAMAÑO	% DE PARTICIPACIÓN
1	GRAVA	3/4" - 3/8"	42
2	GRAVA	3/8" - 3/16"	18
3	ARENA	3/16" - 0"	20
4	P. ROCA	3/16" - 0"	20

DATOS DE DISEÑO MARSHALL		
ITEM		ESPECIE / 1975
1	PESO VOLUMÉTRICO [kg/m <sup>3</sup> ]	2306 NE
2	VACIOS DE AIRE [%]	4.00 3-5.
3	VACIOS RELLENOS DE ASFALTO (VRA) [%]	73.0 70-85
4	VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (VAM)	14.48 13 MÍN
5	ESTABILIDAD [Lb]	3011 1000-3800
6	FLUJO (1/100)"	13.60 8-18.
7	TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO	AC-30 NE
8	PROVEEDOR DE CEMENTO ASFÁLTICO	SHELL NE
9	CEMENTO ASFÁLTICO APLICADO [%]	5.80 5.5-6.1
10	GLS. DE CEM. ASF. APLICADO POR TON CORTA	13.62 NE
11	RESISTENCIA AL DESVESTIMIENTO	95.67 70% MIN
12	RELACIÓN FILLER/ASFALTO	1.07 0.60-1.60

Continuación del anexo 1.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>
<b>Título:</b>	<b>ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADO GRUESO</b>
<b>PROYECTO:</b>	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
<b>TRAMO:</b>	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.
<b>EMPRESA:</b>	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.
<b>MATERIAL:</b>	AGREGADO DE 3/4" - 3/8" RETIENE No. 4
<b>FECHA PRUEBA:</b>	05/10/2010
<b>PROCEDENCIA:</b>	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
<b>USO:</b>	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)

	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2	ENSAYO No.3
A. Peso en el aire de la muestra seca en estufa (g)	/	2446.0	2446.8
B. Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)	/	2500.0	2500.0
C. Peso de la muestra saturada dentro de agua (g)	/	1539.0	1540.0

<b>Peso específico Aparente</b>						
	—	2.697	2.698			
			<b>2.698</b>			

<b>Peso específico SSS</b>						
	—	2.601	2.604			
			<b>2.603</b>			

<b>Peso específico Bulk</b>						
	—	2.545	2.549			
			<b>2.547</b>			

<b>Porcentaje de absorción</b>						
	—	2.208	2.174			
			<b>2.191</b>			

**FORMULAS**

Peso específico .1 aparente

$$\frac{A}{A - C}$$

Peso específico Bulk sss .2

$$\frac{B}{B - C}$$


3. Peso específico Bulk

$$\frac{A}{B - C}$$

4. Absorción

$$\frac{B - A}{A} \times 100$$

Continuación del anexo 1.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>
<b>Título: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADO GRUESO</b>	
<b>PROYECTO:</b> "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS" <b>TRAMO:</b> "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.	
<b>EMPRESA:</b> SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.	<b>MATERIAL:</b> AGREGADO DE 3/8" - 3/16" RETIENE No. 4
<b>FECHA DE PRUEBA:</b> 05/10/2010	<b>PROCEDENCIA:</b> APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
<b>USO:</b> DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)	

	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2	ENSAYO No. 3	
A. Peso en el aire de muestra seca en estufa (g)	1949.6	1948.2	1952.0	<b>FORMULAS</b> 1. Peso específico aparente $\frac{A}{A - C}$
B. Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)	2000.0	2000.0	2000.0	
C. Peso de la muestra saturada dentro de agua (g)	1229.6	1229.4	1229.9	

<b>Peso específico Aparente</b>	2.708	2.710	2.703	
			2.707	

<b>Peso específico SSS</b>	2.596	2.595	2.597	
			2.596	

<b>Peso específico Bulk</b>	2.531	2.528	2.535	
			2.531	


  

<b>Porcentaje de absorción</b>	2.585	2.659	2.459	
			2.568	

				2. Peso específico Bulk sss $\frac{B}{B - C}$
				3. Peso específico Bulk $\frac{A}{B - C}$
				4. Absorción $\frac{B - A}{A} \times 100$

Continuación del anexo 1.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>
<b>Título:</b>	<b>ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADO FINO</b>
<b>PROYECTO:</b>	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
<b>TRAMO:</b>	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.
<b>EMPRESA:</b>	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.
<b>MATERIAL:</b>	AGREGADO DE 3/8" - 3/16" PASA No. 4
<b>FECHA PRUEBA:</b>	05/10/2010
<b>PROCEDENCIA:</b>	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
<b>USO:</b>	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)

	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2	ENSAYO No.3
<b>A.</b> Peso en el aire de la muestra seca en estufa (g)	484.4	484.6	484.7
<b>B.</b> Peso del frasco + agua	1446.6	1450.0	1450.6
<b>C.</b> Peso de la muestra saturada dentro de agua (g)	1751.8	1755.8	1756.3

<b>Peso específico Bulk</b>	2.487	2.495	2.495	<b>2.492</b>
<b>Peso específico SSS</b>	2.567	2.575	2.573	<b>2.572</b>
<b>Peso específico aparente Media</b>	2.703	2.710	2.708	<b>2.707</b>
<b>Porcentaje de absorción</b>	3.220	3.178	3.157	<b>3.185</b>

**FORMULAS**

1. Peso específico Bulk

$$\frac{A}{B + 500 - C}$$

2. Peso específico sss

$$\frac{500}{B + 500 - C}$$

3. Peso esp. Aparente

$$\frac{A}{B + A - C}$$

4. Absorción

$$\frac{500 - A}{A} \times 100$$

1.  $\frac{A}{B + 500 - C}$


2.  $\frac{500}{B + 500 - C}$

3.  $\frac{A}{B + A - C}$

4.  $\frac{500 - A}{A} \times 100$



Continuación del anexo 1.

 <b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>			
<b>Título:</b>	<b>ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADO FINO</b>		
<b>PROYECTO:</b>	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"		
<b>TRAMO:</b>	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.		
<b>EMPRESA:</b>	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.	<b>MATERIAL:</b>	ARENA LAVADA 3/16" - 0" PASA No. 4 RETIENE No. 200
<b>FECHA PRUEBA:</b>	05/10/2010	<b>PROCEDENCIA</b>	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
<b>USO:</b>	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)		

	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2	ENSAYO No.3
A. Peso en el aire de la muestra seca en estufa (g)	478.0	487.2	487.3
B. Peso del frasco + agua	1447.4	1445.3	1447.2
C. Peso de la muestra saturada dentro de agua (g)	1754.5	1753.3	1754.7

<b>Peso específico Bulk</b>	2.478	2.538	2.531		
			2.516		
<b>Peso específico SSS</b>	2.592	2.604	2.597		
			2.598		
<b>Peso específico aparente Media</b>	2.797	2.719	2.710		
			2.742		
<b>Porcentaje de absorción</b>	4.603	2.627	2.606		
			3.279		

**FORMULAS**

1. Peso específico Bulk

$$\frac{A}{B + 500 - C}$$

2. Peso específico sss

$$\frac{500}{B + 500 - C}$$


3. Peso esp. Aparente

$$\frac{A}{B + A - C}$$

4. Absorción

$$\frac{500 - A}{A} \times 100$$

Continuación del anexo 1.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
<b>Título:</b>	<b>ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADO FINO</b>
<b>PROYECTO:</b>	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
<b>TRAMO:</b>	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.
<b>EMPRESA:</b>	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.
<b>MATERIAL:</b>	POLVO DE ROCA 3/16" - 0" PASA No. 4 RETIENE No. 200
<b>FECHA DE PRUEBA:</b>	05/10/2010
<b>PROCEDENCIA:</b>	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
<b>USO:</b>	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)

	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2	ENSAYO No.3
A. Peso en el aire de la muestra seca en estufa (g)	487.0	487.0	486.9
B. Peso del frasco + agua	1446.6	1450.0	1450.6
C. Peso de la muestra saturada dentro de agua (g)	1755.6	1759.3	1760.0
<b>Peso específico Bulk</b>	2.550	2.554	2.555 <b>2.553</b>
<b>Peso específico SSS</b>	2.618	2.622	2.623 <b>2.621</b>
<b>Peso específico aparente Media</b>	2.736	2.741	2.743 <b>2.740</b>
<b>Porcentaje de absorción</b>	2.669	2.669	2.690 <b>2.676</b>

**FORMULAS**

1. Peso específico Bulk

$$\frac{A}{B + 500 - C}$$

2. Peso específico sss

$$\frac{500}{B + 500 - C}$$

3. Peso esp. Aparente


$$\frac{A}{B + A - C}$$

4. Absorción

$$\frac{500 - A}{A} \times 100$$

X 100

Continuación del anexo 1.

		<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>	
<b>TÍTULO: INFORME DE ENSAYOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS DE AGREGADOS PÉTREOS</b>			
PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS" "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE		
TRAMO:	DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.		
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.	TIPO DE MATERIAL:	MEZCLA DE AGREGADOS
FECHA DE PRUEBA:	4/10/2010	PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
PARA USARSE EN:	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)		

**PESOS SUELTOS**

DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	5944	5950	5957
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	4278	4284	4291
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1521	1523	1525
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1523</b>		

**PESOS VARILLADOS**

DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	6460	6480	6458
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	4794	4814	4792
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1704	1711	1704
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1706</b>		

**OBSERVACIONES:**

GRAVA DE 3/4" - 3/8" 42% - GRAVILLA 3/8" - 3/16" 18% - ARENA CRIBADA 3/16" - 0" 20%
POLVO DE ROCA 3/16" - 0" 20%.

Continuación del anexo 1.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b>	
	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>	
<b>TÍTULO: INFORME DE ENSAYOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS DE AGREGADOS PÉTREOS</b>		

PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.

EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.	TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO DE 3/4" A 3/8"
FECHA DE PRUEBA:	4/10/2010	PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
PARA USARSE EN:	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)		

**PESOS SUELTOS**

DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	5570	5566	5582
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	3904	3900	3916
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1388	1386	1392
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1389</b>		

**PESOS VARILLADOS**

DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	5900	5910	5913
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	4234	4244	4247
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1505	1509	1510
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1508</b>		

OBSERVACIONES:	<b>GRAVA DE 3/4" A 3/8" - 42% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA</b>

Continuación del anexo 1.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES S.A.</b> <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>
	<b>TÍTULO: INFORME DE ENSAYOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS DE AGREGADOS PÉTREOS</b>

PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.

EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES S.A.	TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO DE 3/8" A 3/16"
FECHA DE PRUEBA:	4/10/2010	PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
PARA USARSE EN:	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)		

**PESOS SUELTOS**


DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	5600	5608	5610
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	<b>3934</b>	<b>3942</b>	<b>3944</b>
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	<b>1399</b>	<b>1401</b>	<b>1402</b>
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1401</b>		

**PESOS VARILLADOS**

DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	5898	5906	5911
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	<b>4232</b>	<b>4240</b>	<b>4245</b>
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	<b>1504</b>	<b>1507</b>	<b>1509</b>
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1507</b>		

OBSERVACIONES:	GRAVILLA 3/8" A 3/16" - 18% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA

Continuación del anexo 1.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES S.A.</b>		
	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		
<b>TÍTULO: INFORME DE ENSAYOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS DE AGREGADOS PÉTREOS</b>			
PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"		
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.		
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES S.A.	TIPO DE MATERIAL:	ARENA 3/16" - 0"
FECHA DE PRUEBA:	4/10/2010	PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
PARA USARSE EN:	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)		

**PESOS SUELTOS**

DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	5860	5858	5856
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	4194	4192	4190
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1491	1490	1490
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1490</b>		


**PESOS VARILLADOS**

DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	6267	6262	6255
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	4601	4596	4589
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1636	1634	1631
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1634</b>		


OBSERVACIONES:

ARENA 3/16" - 0" - 20% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA

Continuación del anexo 1.


	<b>SIGMA CONSTRUCTORES S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		
<b>TÍTULO: DESGASTE POR ABRASIÓN EN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>			
PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"		
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.		
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES S.A.	PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"
FECHA PRUEBA:	05/10/2010	MUESTRA:	AGREGADO 3/4" - 3/8"
PARA USARSE EN: DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)			
<b>TIPOS DE ABRASIÓN</b>			
<b>A B C D E F G</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
<b>PESO ANTES:</b>			5000.0
<b>PESO DESPUÉS:</b>			3680.0
<b>DIFERENCIA:</b>			1320.0
<b>% ABRASIÓN</b>			<b>26.4</b>
<b>% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA</b>			<b>42.0</b>
<b>OBSERVACIONES:</b>			
GRAVA DE 3/4" - 3/8", 42% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA			

Continuación del anexo 1.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		
<b>TÍTULO: DESGASTE POR ABRASIÓN EN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>			
PROYECTO :	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"		
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.		
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES S.A.	PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"
FECHA PRUEBA:	05/10/2010	MUESTRA:	AGREGADO 3/8" - 3/16"
PARA USARSE EN: DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)			
<b>TIPOS DE ABRASIÓN</b>			
<b>A B C D E F G</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
<b>PESO ANTES:</b>			5000.0
<b>PESO DESPUÉS:</b>			3550.0
<b>DIFERENCIA:</b>			1450.0
<b>% ABRASIÓN</b>		<b>29.0</b>	
<b>% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA</b>		<b>18.0</b>	
<b>OBSERVACIONES:</b>			
GRAVILLA DE 3/8" - 3/16", 18% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA			




Continuación del anexo 1.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
<b>TÍTULO: DESGASTE POR ABRASIÓN EN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>	
PROYECTO : "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"	
TRAMO: "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.	
EMPRESA: SIGMA CONSTRUCTORES S.A.	PROCEDENCIA: APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"
FECHA PRUEBA: 05/10/2010	MUESTRA: MEZCLA DE AGREGADOS
PARA USARSE EN: DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)	
<h2>TIPOS DE ABRASIÓN</h2> <h3>A B C D E F G</h3>	
<b>RESULTADOS</b>	
PESO ANTES:	5000.0
PESO DESPUÉS:	3394.8
DIFERENCIA:	1605.2
% ABRASIÓN	32.1
OBSERVACIONES:	
GRAVA DE 3/4" - 3/8" 42% - GRAVILLA 3/8" - 3/16" 18% - ARENA LAVADA 3/16" - 0" 20%	
POLVO DE ROCA 3/16" - 0" 20%.	

Fuente: Sigma Constructores, S. A. *Laboratorio de Control de Calidad.*

Anexo 2. Reporte de ensayo de partículas planas y alargadas de agregados pétreos

 <b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	
<b>TÍTULO: REPORTE DE ENSAYOS DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS PÉTREOS</b>	
<b>PROYECTO:</b> "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"	<b>FECHA DE PRUEBA:</b> 04/10/2010
<b>TRAMO:</b> "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - OBATORIO.	<b>USO:</b> DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm [3/4"] (AC-30 SHELL)
<b>PROCEDENCIA:</b> APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"	<b>LUGAR DE ENSAYO:</b> LABORATORIO CAMPAMENTO "LA SONRISA"
<b>EMPRESA:</b> SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.	<b>REVISIÓN:</b> 02
<b>MATERIAL:</b> ARENA LAVADA 3/16" - 0" 20% - GRAVILLA 3/8" - 3/16" 18% - POLVO DE ROCA 3/16" - 0" 20%.	

PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS:										
TAMANO DEL AGREGADO:	% PASA ACOMULADO:	PESO MUESTRA, g (A)	PESO DE PARTICULAS ALARGADAS (B)	PESO DE PARTICULAS PLANAS (C)	% PARTICULAS ALARGADAS (D)	% PARTICULAS PLANAS (E)	% RETENIDO ALARGADAS QUE PARTICIPAN EN EL GRANULOMETRIA (F)	% PARTICULAS ALARGADAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL (G)	% PARTICULAS PLANAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL (H)	SUMA:
3/4"	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1/2"	90.9	1200.0	20.00	13.20	1.67	1.10	9.1	0.15	0.10	0.25
3/8"	77.0	300.0	15.40	5.00	5.13	1.67	13.9	0.71	0.23	0.95
No. 4	51.1	100.0	1.80	1.60	1.80	1.60	25.9	0.47	0.41	0.88
No. 8	34.3	50.0	0.70	0.70	1.40	1.40	16.8	0.24	0.24	0.47
No. 50	10.8	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	23.5	0.00	0.00	0.00
No. 200	4.2	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0	6.6	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL:</b>	---	---	---	---	---	---	<b>95.8</b>	<b>1.57</b>	<b>1.0</b>	<b>2.5</b>

<b>PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA: [TOTAL SUMA / TOTAL F] x 100</b>	<b>2.7</b>
---	------------

A	PESO MUESTRA (A)
B	PESO DE PARTICULAS ALARGADAS
C	PESO DE PARTICULAS PLANAS
D	% PARTICULAS ALARGADAS
E	% PARTICULAS PLANAS
F	% RETENIDO INDIVIDUAL EN GRANULOMETRIA
G	% PARTICULAS ALARGADAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL
H	% PARTICULAS PLANAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL

SIGMA CONSTRUCTORES, S.A. LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD										
<b>TÍTULO:</b> REPORTE DE ENSAYOS DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS PÉTREOS										
<b>PROYECTO:</b>	"LITORAL PACÍFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"									
<b>TRAMO:</b>	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.									
<b>PROCEDENCIA:</b>	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA" FECHA DE PRUEBA: 04/10/2010									
<b>EMPRESA:</b>	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A. DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm. [3/4"] (AC-30 SHELL)									
<b>MATERIAL:</b>	GRAVA DE 3/4" - 3/8" 42% - GRAVILLA 3/8" - 3/16" 18% - ARENA LAVADA 3/16" - 0" 20% POLVO DE ROCA 3/16" - 0" 20%. LUGAR DE ENSAYO: LABORATORIO CAMPAMENTO "LA SONRISA"									
<b>PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS:</b>										
TAMAÑO DEL AGREGADO:	PESO MUESTRA (A)	PESO DE PARTÍCULAS ALARGADAS (B)	PESO DE PARTÍCULAS PLANAS (C)	% PARTÍCULAS ALARGADAS (D)	% PARTÍCULAS PLANAS (E)	% RETENIDO INDIVIDUAL EN GRANULOMETRÍA (F)	% PARTÍCULAS ALARGADAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL (G)	% PARTÍCULAS PLANAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL (H)	SUMA	
TAMIZ	% PASA ACUMULADO									
3/4"	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	
1/2"	90.9	1200.0	20.00	13.20	1.67	9.1	0.15	0.10	0.25	
3/8"	77.0	300.0	15.40	5.00	5.13	13.9	0.71	0.23	0.95	
No. 4	51.1	100.0	1.80	1.60	1.80	25.9	0.47	0.41	0.88	
No. 8	34.3	50.0	0.70	0.70	1.40	16.8	0.24	0.24	0.47	
No. 50	10.8	0.0	0.00	0.00	0.00	23.5	0.00	0.00	0.00	
No. 200	4.2	0.0	0.00	0.00	0.0	6.6	0.00	0.00	0.00	
<b>TOTAL:</b>	---	---	---	---	---	95.8	1.57	1.0	2.5	
<b>PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA: (TOTAL SUMA / TOTAL F) x 100</b>										
A	PESO MUESTRA (G)									2.7
B	PESO DE PARTÍCULAS ALARGADAS									
C	PESO DE PARTÍCULAS PLANAS									
D	% PARTÍCULAS ALARGADAS									
E	% PARTÍCULAS PLANAS									
F	% RETENIDO INDIVIDUAL EN GRANULOMETRÍA									
G	% PARTÍCULAS ALARGADAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL									
H	% PARTÍCULAS PLANAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL									

SIGMA CONSTRUCTORES, S.A. LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	
TÍTULO: REPORTE DE ENSAYOS DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS PÉTREOS	
PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.
PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA" FECHA DE PRUEBA: 04/10/2010
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A. USO: DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19
MATERIAL:	GRAVA 3/4" - 3/8" LUGAR DE ENSAYO: LABORATORIO CAMPAMENTO "LA SONRISA"

PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS:									
TAMAÑO DEL AGREGADO:	PESO MUESTRA (A)	PESO DE PARTÍCULAS ALARGADAS (B)	PESO DE PARTÍCULAS PLANAS (C)	% PARTICULAS ALARGADAS (D)	% PARTICULAS PLANAS (E)	% RETENIDO INDIVIDUAL EN GRANULOMETRIA (F)	% PARTICULAS PARTICIPAN EN EL MATERIAL (G)	% PARTICULAS PARTICIPAN EN EL MATERIAL (H)	SUMA:
TAMIZ:	% PASA ACUMULADO:								
3/4"	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	64.0	1200.0	12.40	1.10	1.03	36.0	0.40	0.37	0.77
3/8"	41.2	300.0	12.40	4.13	1.67	22.8	0.94	0.38	1.32
No. 4	7.5	100.0	9.00	9.00	3.20	33.6	3.02	1.08	4.10
No. 8	4.9	50.0	0.00	0.00	0.00	2.7	0.00	0.00	0.00
No. 50	2.7	0.00	0.00	0.00	0.00	2.2	0.00	0.00	0.00
No. 200	1.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	---	---	---	---	---	98.2	4.36	1.8	6.2


PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA: (TOTAL SUMA / TOTAL F) x 100	
A	6.3

LEYENDA:	
A	PESO MUESTRA (A)
B	PESO DE PARTÍCULAS ALARGADAS
C	PESO DE PARTÍCULAS PLANAS
D	% PARTICULAS ALARGADAS
E	% PARTICULAS PLANAS
F	% RETENIDO INDIVIDUAL EN GRANULOMETRIA
G	% PARTICULAS ALARGADAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL
H	% PARTICULAS PLANAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL

SIGMA CONSTRUCTORES, S.A. LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD										
TÍTULO: REPORTE DE ENSAYOS DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS PÉTREOS										
PROYECTO: "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"										
TRAMO: "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.										
PROCEDENCIA: APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"	FECHA DE PRUEBA: 04/10/2010									
EMPRESA: SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.	USO: DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm. [3/4"] (AC-30 SHELL)									
MATERIAL: GRAVILLA DE 3/8" A 3/16"	LUGAR DE ENSAYO: LABORATORIO CAMPAMENTO "LA SONRISA"									
PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS:										
TAMAZO DEL AGREGADO: % PASEA ACUMULADO:	PESO MUESTRA, g (A)	PESO DE PARTÍCULAS ALARGADAS (B)	PESO DE PARTÍCULAS PLANAS (C)	% PARTÍCULAS ALARGADAS (D)	% PARTÍCULAS PLANAS (E)	% RETENIDO EN GRANULOMETRÍA (F)	% PARTÍCULAS ALARGADAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL (G)	% PARTÍCULAS PLANAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL (H)	SUMA	
3/4"	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	100.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/8"	100.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No. 4	43.6	100.0	3.90	3.90	2.00	56.4	2.20	1.13	3.33	
No. 8	8.4	50.0	1.10	1.00	2.00	35.2	0.77	0.70	1.48	
No. 50	3.0	0.00	0.00	0.00	0.00	5.4	0.00	0.00	0.00	
No. 200	1.9	0.00	0.00	0.00	0.00	1.1	0.00	0.00	0.00	
TOTAL:	---	---	---	---	---	98.1	3.0	1.8	4.8	
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA: (TOTAL SOMA / TOTAL F) x 100										
<b>4.9</b>										
A	PESO MUESTRA, (g)									
B	PESO DE PARTÍCULAS ALARGADAS									
C	PESO DE PARTÍCULAS PLANAS									
D	% PARTÍCULAS ALARGADAS									
E	% PARTÍCULAS PLANAS									
F	% RETENIDO INDIVIDUAL EN GRANULOMETRÍA									
G	% PARTÍCULAS ALARGADAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL									
H	% PARTÍCULAS PLANAS QUE PARTICIPAN EN EL MATERIAL									


Continuación del anexo 2.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b>					
	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>					
<b>TITULO: REPORTE DE ENSAYOS DE CARAS FRACTURADAS EN AGREGADOS PETREOS</b>						
PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"					
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.					
PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"		FECHA DE PRUEBA:	04/10/2010		
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.		USO:	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)		
MATERIAL:	GRAVA DE 3/4" A 3/8"		LUGAR DE ENSAYO:	LABORATORIO CAMPAMENTO "LA SONRISA"		
<b>a. CON UNA CARA FRATURADA:</b>						
TAMAÑO DEL AGREGADO:		A	B	C	D	E
TAMIZ:	% PASA ACUMULADO:	(G)	(G)	(B/A) * 100	(%)	CxD
3/4"	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1/2"	64.0	1200.0	1105.0	92.08	36.00	33.15
3/8"	41.2	300.0	289.4	96.47	22.80	21.99
No. 4	7.6	100.0	96.6	96.60	33.60	32.46
No. 8	4.9	50.0	50.0	100.00	2.70	2.70
No.50	2.7	0.0	0.0	100.00	2.20	2.20
No. 200	1.8	0.0	0.0	100.00	0.90	0.90
<b>TOTAL:</b>		---	---	---	98.2	93.4
<b>PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA: (TOTAL E / TOTAL D) x 100</b>				<b>95.1</b>		
<b>b. CON DOS O MAS CARAS FRATURADAS:</b>						
TAMAÑO DEL AGREGADO:		A	B	C	D	E
TAMIZ:	% PASA ACUMULADO:	(G)	(G)	(B/A) * 100	(%)	CxD
3/4"	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	64.0	1200.0	1098.0	91.50	36.00	32.94
3/8"	41.2	300.0	286.0	95.33	22.80	21.74
No. 4	7.6	100.0	93.2	93.20	33.60	31.32
No. 8	4.9	50.0	50.0	100.00	2.70	2.70
No. 50	2.7	0.00	0.00	100.00	2.20	2.20
No. 200	1.8	0.00	0.00	100.00	0.90	0.90
<b>TOTAL:</b>		---	---	---	98.20	91.79
<b>PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS: (TOTAL E / TOTAL D) x 100</b>				<b>93.5</b>		
A	PESO MUESTRA, (G)					
B	PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS, (G)					
C	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS					
D	PORCENTAJE DE RETENIDO GRADACION ORIGINAL					
E	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS					
OBSERVACIONES	GRAVA DE 3/4" A 3/8", PARTICIPA 42%					
<b>REFERENCIA ASTM D 5821</b>						

Continuación del anexo 2.

<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD						
<b>TITULO: REPORTE DE ENSAYOS DE CARAS FRACTURADAS EN AGREGADOS PETREOS</b>						
PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"					
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.					
PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"		FECHA DE PRUEBA		04/10/2010	
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.		USO:		DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)	
MATERIAL:	MEZCLA DE AGREGADOS		LUGAR DE ENSAYO		LABORATORIO CAMPAMENTO "LA SONRISA"	
<b>a. CON UNA CARA FRATURADA:</b>						
TAMAÑO DEL AGREGADO:		A	B	C	D	E
TAMIZ:	% PASA ACUMULADO:	(G)	(G)	(B/A) * 100	(%)	CxD
3/4"	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1/2"	90.9	1200.0	1087.0	90.58	9.10	8.24
3/8"	77.0	300.0	275.9	91.97	13.90	12.78
No. 4	51.1	100.0	96.0	96.00	25.90	24.86
No. 8	34.3	50.0	48.4	96.80	16.80	16.26
No. 50	10.8	0.0	0.0	100.00	23.50	23.50
No. 200	4.2	0.0	0.0	100.00	6.60	6.60
<b>TOTAL:</b>	---	---	---	---	95.8	92.3
<b>PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA: (TOTAL E / TOTAL D) x 100</b>					<b>96.3</b>	
<b>b. CON DOS O MAS CARAS FRATURADAS:</b>						
TAMAÑO DEL AGREGADO:		A	B	C	D	E
TAMIZ:	% PASA ACUMULADO:	(G)	(G)	(B/A) * 100	(%)	CxD
3/4"	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	90.9	1200.0	1064.2	88.68	9.10	8.07
3/8"	77.0	300.0	272.5	90.83	13.90	12.63
No. 4	51.1	100.0	93.9	93.90	25.90	24.32
No. 8	34.3	50.0	48.0	96.00	16.80	16.13
No. 50	10.8	0.00	0.00	100.00	23.50	23.50
No. 200	4.2	0.00	0.00	100.00	6.60	6.60
<b>TOTAL:</b>	---	---	---	---	95.80	91.24
<b>PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS: (TOTAL E / TOTAL D) x 100</b>					<b>95.2</b>	
A	PESO MUESTRA, (G)					
B	PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS, (G)					
C	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS					
D	PORCENTAJE DE RETENIDO GRADACION ORIGINAL					
E	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS					
<b>OBSERVACIONES</b>						
GRAVA DE 3/4" - 3/8" 42% - GRAVILLA 3/8" - 3/16" 18% - ARENA LAVADA 3/16" - 0" 20%						
POLVO DE ROCA 3/16" - 0" 20%.						
<b>REFERENCIA ASTM D 5821</b>						


Continuación del anexo 2.

 <b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD						
<b>TITULO: REPORTE DE ENSAYOS DE CARAS FRACTURADAS EN AGREGADOS PETREOS</b>						
PROYECTO: "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS" TRAMO: "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.						
PROCEDENCIA: APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"      FECHA DE PRUEBA: 04/10/2010						
EMPRESA: SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.      USO: DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)						
MATERIAL: GRAVILLA 3/8" - 3/16"      LUGAR DE ENSAYO: LABORATORIO CAMPAMENTO "LA SONRISA"						
<b>a. CON UNA CARA FRATURADA:</b>						
TAMAÑO DEL AGREGADO:		A (G)	B (G)	C (B/A) * 100	D (%)	E CxD
TAMIZ:	% PASA ACUMULADO:					
3/4"	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1/2"	100.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
3/8"	100.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
No. 4	43.6	100.0	95.0	95.00	56.40	53.58
No. 8	8.4	50.0	48.0	96.00	35.20	33.79
No.50	3.0	0.0	0.0	100.00	5.40	5.40
No. 200	1.9	0.0	0.0	100.00	1.10	1.10
<b>TOTAL:</b>		---	---	---	98.1	93.9
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA: (TOTAL E / TOTAL D) x 100					<b>95.7</b>	
<b>b. CON DOS O MAS CARAS FRATURADAS:</b>						
TAMAÑO DEL AGREGADO:		A (G)	B (G)	C (B/A) * 100	D (%)	E CxD
TAMIZ:	% PASA ACUMULADO:					
3/4"	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/8"	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No. 4	43.6	100.0	94.0	94.00	56.40	53.02
No. 8	8.4	50.0	46.4	92.80	35.20	32.67
No. 50	3.0	0.00	0.00	100.00	5.40	5.40
No. 200	1.9	0.00	0.00	100.00	1.10	1.10
<b>TOTAL:</b>		---	---	---	98.1	92.2
PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS: (TOTAL E / TOTAL D) x 100					<b>94.0</b>	
A PESO MUESTRA, (G) B PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS, (G) C PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS D PORCENTAJE DE RETENIDO GRADACION ORIGINAL E PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS						
OBSERVACIONES: GRAVILLA DE 3/8" A 3/16", PARTICIPA 18%						
REFERENCIA ASTM D 5821						

Fuente: Sigma Constructores, S. A. Laboratorio de Control de Calidad.



Anexo 3. Informe de ensayo para determinar equivalente de arena

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
<b>Título: INFORME DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA</b>	
PROYECTO :	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.
FECHA DE PRUEBA:	05/10/2010
PARA USARSE EN:	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)
MUESTRA:	MEZCLA DE AGREGADOS
PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"

Probeta N°	Hora Inicial de saturación	Hora final de saturación	Tiempo de agitado	Hora llenado de probeta	Hora de lectura final	Lectura de arcilla	Lectura de arena	Equivalente de arena %
1	11:00	11:10	30 seg.	11:12	11:32	4.20	3.40	81.0
2	11:03	11:13	30 seg.	11:15	11:35	4.10	3.40	82.9
3	11:06	11:16	30 seg.	11:18	11:38	4.20	3.40	81.0
								<b>81.6</b>

*PROMEDIO*


**OBSERVACIONES:**

GRAVA DE 3/4" - 3/8" 42% - GRAVILLA 3/8" - 3/16" 18% - ARENA LAVADA 3/16" - 0" 20%  
 POLVO DE ROCA 3/16" - 0" 20%.

Los tiempos de saturación serán de 10 minutos  
 Los tiempos de agitado serán de 90 ciclos.  
 Los tiempos de reposo serán de 20 minutos.  
 Todos los tiempos deberán ser exactos.

Continuación del anexo 3.



**SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.**  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

**Título:** INFORME DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA

---

**PROYECTO :** "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"

**TRAMO:** "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.

**EMPRESA:** SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.      **MUESTRA:** ARENA CRIBADA 3/16" - 0"

**FECHA DE PRUEBA:** 05/10/2010      **PROCEDENCIA:** APLAMIENTOS CAMPAAMENTO "LA SONRISA"

**PARA USARSE EN:** DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)

Probeta Nº	Hora inicial de saturación	Hora final de saturación	Tiempo de agitado	Hora llenado de probeta	Hora de lectura final	Lectura de arcilla	Lectura de arena	Equivalente de arena %
1	13:46	13:56	30 seg.	13:58	14:18	4.1	3.5	85.4
2	13:49	13:59	30 seg.	14:01	14:21	4.2	3.6	85.7
3	13:52	14:02	30 seg.	14:04	14:24	4.1	3.5	85.4
								<b>85.5</b>


PRIMERO

Los tiempos de saturación serán de 10 minutos  
 Los tiempos de agitado serán de 90 ciclos.  
 Los tiempos de reposo serán de 20 minutos.  
 Todos los tiempos deberán ser coactos.

**OBSERVACIONES:** ARENA 3/16" - 0" 20%

Continuación del anexo 3.



**SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.**  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

---

**Título:** INFORME DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA

---

**PROYECTO:** "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTROQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"

**TRAMO:** "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.

**EMPRESA:** SIGMA CONSTRUCTORES, S.A. **MUESTRA:** POLVO DE ROCA 3/16" - 0"

**FECHA DE PRUEBA:** 05/10/2010 **PROCEDENCIA:** APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"

**PARA USARSE EN:** DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFALTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)

---

Probeta Nº	Hora inicial de saturación	Hora final de saturación	Tiempo de agitado	Hora llenado de probeta	Hora de lectura final	Lectura de arcilla	Lectura de arena	Equivalente de arena %
1	10:50	11:00	30 seg.	11:02	11:22	4.8	3.1	64.6
2	10:53	11:03	30 seg.	11:05	11:25	4.6	3.0	65.2
3	10:56	11:06	30 seg.	11:08	11:28	4.8	3.1	64.6
<b>PROMEDIO</b>								<b>64.8</b>


**OBSERVACIONES:**

POLVO DE ROCA 3/16" - 0" 20%


Los tiempos de saturación serán de 10 minutos  
 Los tiempos de agitado serán de 90 ciclos.  
 Los tiempos de reposo serán de 20 minutos.  
 Todos los tiempos deberán ser exactos.

Fuente: Sigma Constructores, S. A. Laboratorio de Control de Calidad.

Anexo 4. Pruebas de límites de plasticidad y concentración lineal

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD																																						
<b>TÍTULO: PRUEBAS DE LÍMITES DE PLASTICIDAD Y CONTRACCIÓN LINEAL</b>																																							
PROYECTO : "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS" TRAMO: "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO. EMPRESA: SIGMA CONSTRUCTORES, S.A. FECHA DE PRUEBA: 05/10/2010 MUESTRA: MEZCLA DE AGREGADOS DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL) PROCEDENCIA: APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA" PARA USARSE EN:																																							
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>																																							
CÁPSULA No.	PESO CÁPSULA g	CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	CÁPSULA + SUELO SECO g	AGUA g	SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA %	NUMERO DE GOLPES																																
<b>N. L. L.</b>																																							
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>																																							
CÁPSULA No.	PESO CÁPSULA g	CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	CÁPSULA + SUELO SECO g	AGUA g	SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA, W %	PROM.																																
<b>N. L. P.</b>																																							
VALORES OBTENIDOS, % LÍMITE LÍQUIDO L.L. = <u>    N. L. L.    </u> LÍMITE PLÁSTICO L.P. = <u>    N. L. P.    </u> ÍNDICE PLÁSTICO I.P. = <u>    N. I. P.    </u> CONTRACCIÓN LINEAL C. L. = <u>                    </u>																																							
OBSERVACIONES: GRAVA DE 3/4" - 3/8" 42% - GRAVILLA 3/8" - 3/16" 18% - ARENA LAVADA 3/16" - 0" 20% POLVO DE ROCA 3/16" - 0" 20%.																																							
<table border="1" style="width: 100%; height: 150px;"> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">CONTENIDO DE AGUA W, EN %</td> <td colspan="7" style="text-align: center;"><b>N. L. L.</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="7" style="text-align: center;"><b>N. L. P.</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="7" style="text-align: center;"><b>N. I. P.</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="7" style="text-align: center;">NÚMERO DE GOLPES</td> </tr> </table>								CONTENIDO DE AGUA W, EN %	<b>N. L. L.</b>								<b>N. L. P.</b>								<b>N. I. P.</b>								NÚMERO DE GOLPES						
CONTENIDO DE AGUA W, EN %	<b>N. L. L.</b>																																						
	<b>N. L. P.</b>																																						
	<b>N. I. P.</b>																																						
	NÚMERO DE GOLPES																																						

Continuación del anexo 4.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>
<b>TÍTULO: PRUEBAS DE LÍMITES DE PLASTICIDAD Y CONTRACCIÓN LINEAL</b>	
PROYECTO : TRAMO : EMPRESA : FECHA DE PRUEBA : PROCEDENCIA :	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS" "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO. SIGMA CONSTRUCTORES, S.A. 05/10/2010 APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA" MUESTRA : PARA USARSE EN:
ARENA 3/16" - 0" CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)	

LÍMITE LIQUIDO							
CÁPSULA No.	PESO CÁPSULA g	CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	CÁPSULA + SUELO SECO g	AGUA g	SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA %	NUMERO DE GOLPES

LÍMITE PLÁSTICO							
CÁPSULA No.	PESO CÁPSULA g	CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	CÁPSULA + SUELO SECO g	AGUA g	SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA, W %	PROM.


  

VALORES OBTENIDOS, % LÍMITE LÍQUIDO L.L. = <b>N. L. L.</b> LÍMITE PLÁSTICO L.P. = <b>N. L. P.</b> ÍNDICE PLÁSTICO I.P. = <b>N. L. P.</b> CONTRACCIÓN LINEAL C. L. =	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: middle;">CONTENIDO DE AGUA W, EN %</td> <td style="width: 90%; text-align: center;"> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">N. L. L.</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">N. L. P.</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">N. L. P.</div> </td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">NÚMERO DE GOLPES</td> <td style="width: 90%;"></td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	CONTENIDO DE AGUA W, EN %	<div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">N. L. L.</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">N. L. P.</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">N. L. P.</div>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">NÚMERO DE GOLPES</td> <td style="width: 90%;"></td> </tr> </table>	NÚMERO DE GOLPES	
CONTENIDO DE AGUA W, EN %	<div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">N. L. L.</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">N. L. P.</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">N. L. P.</div>						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">NÚMERO DE GOLPES</td> <td style="width: 90%;"></td> </tr> </table>	NÚMERO DE GOLPES					
NÚMERO DE GOLPES							

OBSERVACIONES:	ARENA 3/16" - 0" 20%   
----------------	----------------------------------

Continuación del anexo 4.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>
<b>TÍTULO: PRUEBAS DE LÍMITES DE PLASTICIDAD Y CONTRACCIÓN LINEAL</b>	
PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.
FECHA DE PRUEBA:	05/10/2010
MUESTRA:	POLVO DE ROCA 3/16" - 0"
PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"
PARA USARSE EN:	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)

LÍMITE LIQUIDO							
CÁPSULA No.	PESO CÁPSULA g	CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	CÁPSULA + SUELO SECO g	AGUA g	SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA %	NUMERO DE GOLPES

LÍMITE PLÁSTICO							
CÁPSULA No.	PESO CÁPSULA g	CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	CÁPSULA + SUELO SECO g	AGUA g	SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA, W %	PROM.


<b>VALORES OBTENIDOS, %</b> LÍMITE LÍQUIDO L.L. = <u>N. L. L.</u> LÍMITE PLÁSTICO L.P. = <u>N. L. P.</u> ÍNDICE PLÁSTICO I.P. = <u>N. I. P.</u> CONTRACCIÓN LINEAL C. L. = _____	<table border="1" style="width: 100%; height: 150px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%; text-align: center; vertical-align: middle;">CONTENIDO DE AGUA W, EN %</td> <td style="width: 95%; text-align: center; vertical-align: middle;"> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 10px 0;">N. L. L.</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 10px 0;">N. L. P.</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 10px 0;">N. I. P.</div> </td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">NÚMERO DE GOLPES</td> </tr> </table>	CONTENIDO DE AGUA W, EN %	<div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 10px 0;">N. L. L.</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 10px 0;">N. L. P.</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 10px 0;">N. I. P.</div>		NÚMERO DE GOLPES
CONTENIDO DE AGUA W, EN %	<div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 10px 0;">N. L. L.</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 10px 0;">N. L. P.</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 10px 0;">N. I. P.</div>				
	NÚMERO DE GOLPES				

<b>CLASIFICACIÓN SUCS:</b> _____ _____
<b>OBSERVACIONES:</b> POLVO DE ROCA 3/16" - 0" 20% _____ _____

Fuente: Sigma Constructores, S. A. Laboratorio de Control de Calidad.

Anexo 5. Ensayo de gravedad específica de filler.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>
<b>Título: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE FILLER (PASA TAMIZ No.200)</b>	
<b>PROYECTO:</b>	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
<b>TRAMO:</b>	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.
<b>EMPRESA:</b>	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.
<b>MATERIAL:</b>	ARENA 3/16" - 0" PASA No.200
<b>FECHA PRUEBA:</b>	5/10/2010
<b>PROCEDENCIA:</b>	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
<b>USO:</b>	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)

	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2	ENSAYO No.3
A. Peso en el aire de la muestra seca en estufa (g)	50.0	50.0	50.0
B. Peso del frasco + agua	1447.4	1445.3	1447.2
C. Peso de la muestra saturada dentro del agua	1478.7	1476.7	1478.7


**FORMULAS**

1. Peso esp. Aparente

$$\frac{A}{B + A - C}$$

<b>Peso específico aparente Media</b>	2.674	2.688	2.703
	<b>2.688</b>		

Continuación del anexo 5.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		
<b>Título:</b>	<b>ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE FILLER (PASA TAMIZ No.200)</b>		
<b>PROYECTO:</b>	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"		
<b>TRAMO:</b>	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.		
<b>EMPRESA:</b>	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.	<b>MATERIAL:</b>	POLVO DE ROCA 3/16" - 0" PASA No.200
<b>FECHA PRUEBA:</b>	05/10/2010	<b>PROCEDENCIA:</b>	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
<b>USO:</b>	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)		

	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2	ENSAYO No.3	
A. Peso en el aire de la muestra seca en estufa (g)	50.00	50.00	50.00	<b>FORMULAS</b>  1. Peso esp. Aparente  $\frac{A}{B + A - C}$
B. Peso del frasco + agua	1446.60	1450.00	1450.60	
C. Peso de la muestra saturada dentro del agua	1477.90	1481.40	1482.00	


  

<b>Peso específico aparente Media</b>	2.674	2.688	2.688	<b>2.683</b>
---------------------------------------	-------	-------	-------	--------------

Fuente: Sigma Constructores, S. A. *Laboratorio de Control de Calidad.*

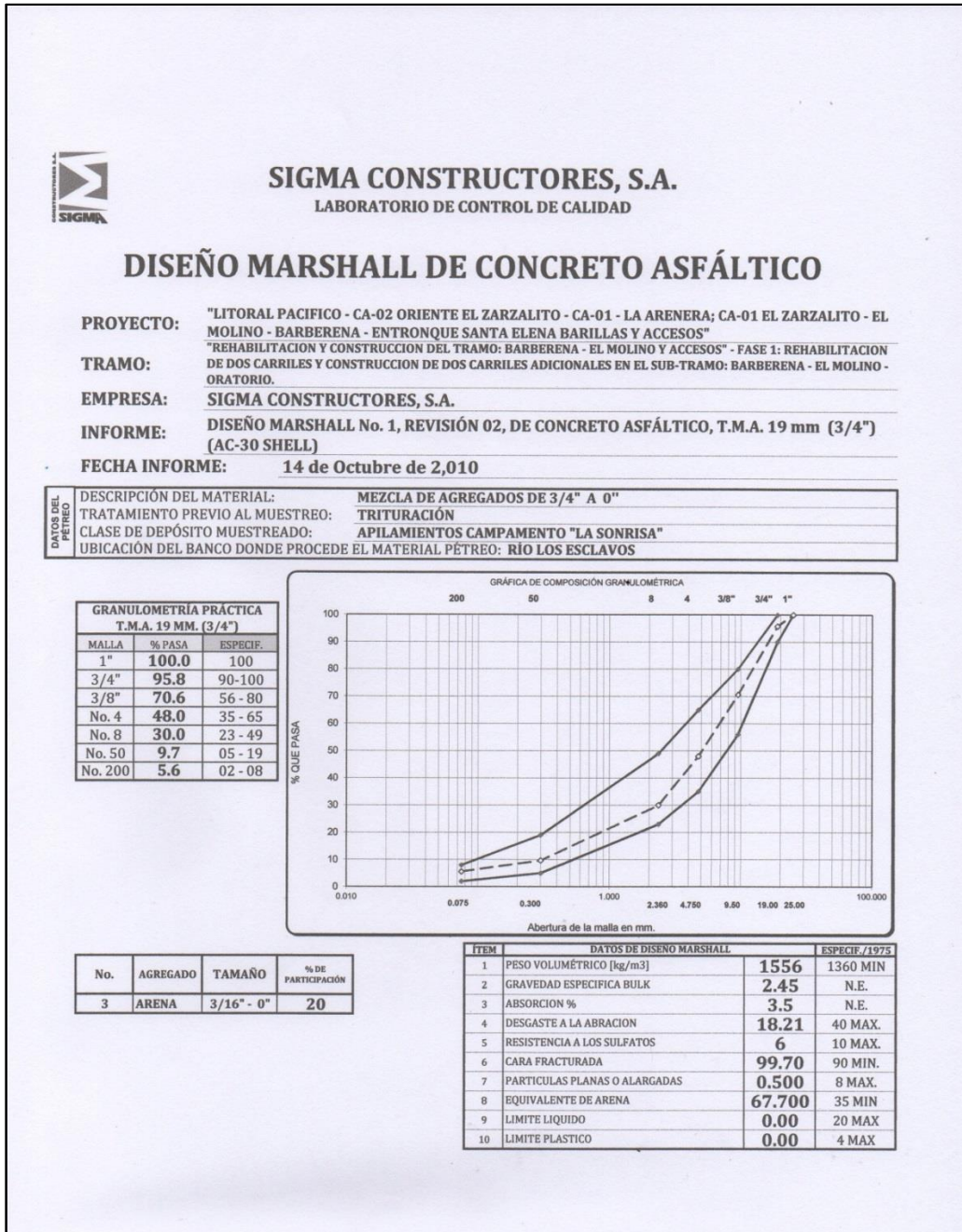


Anexo 6. Informe de ensayo de peso volumétrico de agregados pétreos

 <b>SIGMA CONSTRUCTORES S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD																															
<b>TÍTULO: INFORME DE ENSAYOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS DE AGREGADOS PÉTREOS</b>																															
PROYECTO: "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS" TRAMO: "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.																															
EMPRESA: SIGMA CONSTRUCTORES S.A. TIPO DE MATERIAL: POLVO DE ROCA DE 3/16" - 0" FECHA DE PRUEBA: 4/10/2010 PROCEDENCIA: APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS PARA USARSE EN: DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)																															
<b>PESOS SUELTOS</b>																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">DATOS DE PRUEBA</th> <th colspan="3">No. PRUEBA</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PESO BRUTO</td> <td>5629</td> <td>5620</td> <td>5617</td> </tr> <tr> <td>PESO DE MOLDE</td> <td>1666</td> <td>1666</td> <td>1666</td> </tr> <tr> <td>PESO NETO</td> <td>3963</td> <td>3954</td> <td>3951</td> </tr> <tr> <td>VOLUMEN DE MOLDE</td> <td>2.813</td> <td>2.813</td> <td>2.813</td> </tr> <tr> <td>PESO VOLUMÉTRICO Kg/M<sup>3</sup></td> <td>1409</td> <td>1406</td> <td>1405</td> </tr> <tr> <td><b>PROMEDIO:</b></td> <td colspan="3" style="text-align: center;"><b>1406</b></td> </tr> </tbody> </table>	DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA			1	2	3	PESO BRUTO	5629	5620	5617	PESO DE MOLDE	1666	1666	1666	PESO NETO	3963	3954	3951	VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813	PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1409	1406	1405	<b>PROMEDIO:</b>	<b>1406</b>		
DATOS DE PRUEBA		No. PRUEBA																													
	1	2	3																												
PESO BRUTO	5629	5620	5617																												
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666																												
PESO NETO	3963	3954	3951																												
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813																												
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1409	1406	1405																												
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1406</b>																														
<b>PESOS VARILLADOS</b>																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">DATOS DE PRUEBA</th> <th colspan="3">No. PRUEBA</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PESO BRUTO</td> <td>6089</td> <td>6095</td> <td>6083</td> </tr> <tr> <td>PESO DE MOLDE</td> <td>1666</td> <td>1666</td> <td>1666</td> </tr> <tr> <td>PESO NETO</td> <td>4423</td> <td>4429</td> <td>4417</td> </tr> <tr> <td>VOLUMEN DE MOLDE</td> <td>2.813</td> <td>2.813</td> <td>2.813</td> </tr> <tr> <td>PESO VOLUMÉTRICO Kg/M<sup>3</sup></td> <td>1572</td> <td>1574</td> <td>1570</td> </tr> <tr> <td><b>PROMEDIO:</b></td> <td colspan="3" style="text-align: center;"><b>1572</b></td> </tr> </tbody> </table>	DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA			1	2	3	PESO BRUTO	6089	6095	6083	PESO DE MOLDE	1666	1666	1666	PESO NETO	4423	4429	4417	VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813	PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1572	1574	1570	<b>PROMEDIO:</b>	<b>1572</b>		
DATOS DE PRUEBA		No. PRUEBA																													
	1	2	3																												
PESO BRUTO	6089	6095	6083																												
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666																												
PESO NETO	4423	4429	4417																												
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813																												
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1572	1574	1570																												
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1572</b>																														
OBSERVACIONES: POLVO DE ROCA DE 3/16" - 0" - 20% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA																															


Fuente: Sigma Constructores, S. A. Laboratorio de Control de Calidad.

## Anexo 7. Diseño Marshall de concreto asfáltico



Fuente: Sigma Constructores, S. A. Laboratorio de Control de Calidad.

## Anexo 8. Diseño de gravedad específica de agregado grueso

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b>		
	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		
<b>Título:</b>	<b>ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADO GRUESO</b>		
<b>PROYECTO:</b>	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"		
<b>TRAMO:</b>	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.		
<b>EMPRESA:</b>	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.	<b>MATERIAL:</b>	AGREGADO DE 3/4" - 3/8" RETIENE No. 4
<b>FECHA PRUEBA:</b>	07/10/2010	<b>PROCEDENCIA:</b>	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
<b>USO:</b>	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)		


  

	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2	ENSAYO No. 3	
<b>A.</b> Peso en el aire de la muestra seca en estufa (g)	1754.00	1720.8	1661.5	<b>FORMULAS</b> 1. Peso específico aparente $\frac{A}{A - C}$
<b>B.</b> Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)	1810.60	1777.5	1736.6	
<b>C.</b> Peso de la muestra saturada dentro de agua (g)	1101.30	1075.4	1050.1	
				2. Peso específico Bulk sss $\frac{B}{B - C}$
<b>Peso específico Aparente</b>	2.587	2.658.000	2.063	
			2.672	
<b>Peso específico SSS</b>	2.557	2.550	2.879	3. Peso específico Bulk $\frac{A}{B - C}$
			2.715	
<b>Peso específico Bulk</b>	2.473	2.451	2.440	4. Absorción $\frac{B - A}{A} \quad X 100$
			2.446	
<b>Porcentaje de absorción</b>	3.327	3.256	3.259	
			3.258	

<b>REFERENCIAS:</b> ASTM C 127 Y C 128
<b>OBSERVACIONES:</b>
GRAVA 3/4" - 3/8" RETIENE TAMIZ No. 4 - 42% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA.

Continuación del anexo 8.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
<b>Título:</b> ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADO GRUESO	
<b>PROYECTO:</b> "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS" <b>TRAMO:</b> "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.	
<b>EMPRESA:</b> SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.	<b>MATERIAL:</b> AGREGADO DE 3/8" - 3/16" RETIENE No. 4
<b>FECHA DE PRUEBA:</b> 07/10/2010	<b>PROCEDENCIA:</b> APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
<b>USO:</b> DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)	


	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2	ENSAYO No. 3	
A. Peso en el aire de la muestra seca en estufa (g)	155.2	1294.5	1326.8	<b>FORMULAS</b> 1. Peso específico aparente $\frac{A}{A - C}$
B. Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)	1610.6	1353.2	1377.2	
C. Peso de la muestra saturada dentro de agua (g)	973.1	809.8	830.1	
				2. Peso específico Bulk sss $\frac{B}{B - C}$
Peso específico Aparente	2.630	2.671	2.671	
			2.657	
Peso específico SSS	2.526	2.490	2.517	3. Peso específico Bulk $\frac{A}{B - C}$
			2.511	
Peso específico Bulk	2.435	2.420	2.425	4. Absorción $\frac{B - A}{A} \times 100$
			2.427	
Porcentaje de absorción	3.780	3.762	3.799	
			3.774	

REFERENCIAS: ASTM C 127 Y C 128

OBSERVACIONES: GRAVILLA 3/8" - 3/16" RETIENE TAMIZ No. 4 - 18% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA.

Continuación del anexo 8.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
<b>Título:</b>	<b>ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADO FINO</b>
<b>PROYECTO:</b>	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
<b>TRAMO:</b>	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.
<b>EMPRESA:</b>	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.
<b>MATERIAL:</b>	AGRAGADO DE 3/8" - 3/16" PASA No. 4
<b>FECHA PRUEBA:</b>	07/10/2010
<b>PROCEDENCIA:</b>	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
<b>USO:</b>	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)


  

	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2	ENSAYO No.3	
A. Peso en el aire de la muestra seca en estufa (g)		489.7	480.8	<b>FORMULAS</b> 1. Peso específico Bulk $\frac{A}{B + 500 - C}$
B. Peso del frasco + agua		1481.2	1442.6	
C. Peso de la muestra saturada dentro de agua (g)		1782.8	1745.1	2. Peso específico sss $\frac{500}{B + 500 - C}$
<b>Peso específico Bulk</b>		2.423	2.434	3. Peso esp. aparente $\frac{A}{B + A - C}$
			2.429	
<b>Peso específico SSS</b>		2.520	2.532	4. Absorción $\frac{500 - A}{A} \times 100$
			2.526	
<b>Peso específico aparente Media</b>		2.684	2.597	
			2.690	
<b>Porcentaje de absorción</b>		4.015	3.993	
			4.004	

<b>OBSERVACIONES:</b>
GRAVILLA 3/8" - 3/16" PASA TAMIZ No. 4 - 18% DE PARTICIPACION EN LA MEZCLA.

Continuación del anexo 8.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
<b>Título:</b>	<b>ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADO FINO</b>
<b>PROYECTO:</b>	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
<b>TRAMO:</b>	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.
<b>EMPRESA:</b>	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.
<b>MATERIAL:</b>	ARENA LAVADA 3/16" - 0" PASA No. 4 RETIENE No. 200
<b>FECHA PRUEBA:</b>	07/10/2010
<b>PROCEDENCIA:</b>	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
<b>USO:</b>	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)


  

	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2	ENSAYO No. 3	
A. Peso en el aire de la muestra seca en estufa (g)		481.9	481.8	<b>FORMULAS</b> 1. Peso específico Bulk $\frac{A}{B + 500 - C}$
B. Peso del frasco + agua		1449.5	1455.3	
C. Peso de la muestra saturada dentro de agua (g)		1750.6	1757.2	
<b>Peso específico Bulk</b>		2.423	2.432	2. Peso específico sss $\frac{500}{B + 500 - C}$
			<b>2.427</b>	
<b>Peso específico SSS</b>		2.514	2.524	3. Peso esp. Aparente $\frac{A}{B + A - C}$
			<b>2.519</b>	
<b>Peso específico aparente Media</b>		2.665	2.678	4. Absorción $\frac{500 - A}{A} \times 100$
			<b>2.672</b>	
<b>Porcentaje de absorción</b>		3.756	3.778	
			<b>3.767</b>	

<b>OBSERVACIONES:</b>	ARENA 3/16" a 0" PASA TAMIZ No. 4 - RETIENE TAMIZ No. 200 - 20% DE PARTICIPACION EN LA MEZCLA.
-----------------------	--

Continuación del anexo 8.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>
<b>Título:</b> ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE FILLER (PASA TAMIZ No.200)	
<b>PROYECTO:</b> "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"	
<b>TRAMO:</b> "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.	
<b>EMPRESA:</b> SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.	<b>MATERIAL:</b> ARENA 3/16" - 0" PASA No.200
<b>FECHA PRUEBA:</b> 7/10/2010	<b>PROCEDENCIA:</b> APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
<b>USO:</b> DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)	

	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2	ENSAYO No. 3	
A. Peso en el aire de la muestra seca en estufa (g)	50.0	50.0	50.0	<b>FORMULAS</b>  1. Peso esp. Aparente  $\frac{A}{B + A - C}$
B. Peso del frasco + agua	1445.8	1449.5	1455.3	
C. Peso de la muestra saturada dentro del agua	1476.5	1478.8	1484.8	


  

<b>Peso específico aparente Media</b>	2.403	2.415	2.439	<b>2.439</b>
---------------------------------------	-------	-------	-------	--------------

<b>OBSERVACIONES:</b>	ARENA 3/16" A 0" PASA TAMIZ No. 200 - 20% DE PARTICIPACION EN LA MEZCLA.
-----------------------	--

Continuación del anexo 8.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
<b>Título: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE FILLER (PASA TAMIZ No.200)</b>	
PROYECTO: "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS" TRAMO: "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.	EMPRESA: SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.      MATERIAL: POLVO DE ROCA 3/16" - 0" PASA No.200 FECHA PRUEBA: 07/10/2010      PROCEDENCIA: APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS USO: DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)

	ENSAYO No. 1	ENSAYO No. 2	ENSAYO No.3	
A. Peso en el aire de la muestra seca en estufa (g)	50.00	50.00	50.00	<b>FORMULAS</b>  1. Peso esp. Aparente  $\frac{A}{B + A - C}$
B. Peso del frasco + agua	1479.60	1481.20	1442.60	
C. Peso de la muestra saturada dentro del agua	1608.30	1510.40	1472.00	

Peso específico aparente Media	2.453	2.404	2.427	2.431
--------------------------------	-------	-------	-------	-------

<b>OBSERVACIONES:</b> POLVO DE ROCA 3/16" A 0" PASA TAMIZ No. 200 - 20% DE PARTICIPACION EN LA MEZCLA.
---



Continuación del anexo 8.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>
<b>TÍTULO: INFORME DE ENSAYOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS DE AGREGADOS PÉTREOS</b>	

PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.

EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.	TIPO DE MATERIAL:	MEZCLA DE AGREGADOS
FECHA DE PRUEBA:	6/10/2010	PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
PARA USARSE EN:	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)		

**PESOS SUELTOS**

DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	5695	5890	5296
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	4229	4224	4230
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1503	1502	1504
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1503</b>		

**PESOS VARILLADOS**

DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	6415	6420	6409
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	4749	4754	4743
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1688	1690	1686
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1688</b>		

OBSERVACIONES:
GRAVA DE 3/4" - 3/8" 42% - GRAVILLA 3/8" - 3/16" 18% - ARENA CRIBADA 3/16" - 0" 20%
POLVO DE ROCA 3/16" - 0" 20%.

Continuación del anexo 8.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>		
	<b>TÍTULO: INFORME DE ENSAYOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS DE AGREGADOS PÉTREOS</b>		
PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"		
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.		
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.	TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO DE 3/4" A 3/8"
FECHA DE PRUEBA:	6/10/2010	PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
PARA USARSE EN:	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)		

**PESOS SUELTOS**

DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	5470	5460	5485
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	3804	3794	3819
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1352	1349	1358
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1353</b>		


**PESOS VARILLADOS**

DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	5815	5800	5820
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	4149	4134	4154
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1475	1470	1477
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1474</b>		

OBSERVACIONES:

GRAVA DE 3/4" A 3/8" - 42% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA
--

Continuación del anexo 8.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES S.A.</b> <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>
<b>TÍTULO: INFORME DE ENSAYOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS DE AGREGADOS PÉTREOS</b>	
PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES S.A. TIPO DE MATERIAL: AGREGADO DE 3/8" A 3/16"
FECHA DE PRUEBA:	4/10/2010 PROCEDENCIA: APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
PARA USARSE EN:	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)

**PESOS SUELTOS**

DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	5990	6078	6055
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	<b>4324</b>	<b>4412</b>	<b>4389</b>
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1537	1568	1560
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1555</b>		

**PESOS VARILLADOS**


DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	6285	6320	6360
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	<b>4619</b>	<b>4654</b>	<b>4694</b>
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1642	1654	1669
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1655</b>		

OBSERVACIONES:

GRAVILLA 3/8" A 3/16" - 18% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA

Continuación del anexo 8.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES S.A.</b>		
	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		
<b>TÍTULO: INFORME DE ENSAYOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS DE AGREGADOS PÉTREOS</b>			
PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"		
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE I: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.		
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES S.A.	TIPO DE MATERIAL:	ARENA 3/16" - 0"
FECHA DE PRUEBA:	6/10/2010	PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA", RÍO LOS ESCLAVOS
PARA USARSE EN:	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)		

**PESOS SUELTOS**


DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	6035	6070	6025
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	4369	4404	4359
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1553	1566	1550
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1556</b>		

**PESOS VARILLADOS**


DATOS DE PRUEBA	No. PRUEBA		
	1	2	3
PESO BRUTO	6455	6495	6475
PESO DE MOLDE	1666	1666	1666
PESO NETO	4789	4829	4809
VOLUMEN DE MOLDE	2.813	2.813	2.813
PESO VOLUMÉTRICO Kg/M <sup>3</sup>	1702	1717	1710
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1710</b>		

OBSERVACIONES: ARENA 3/16" - 0" - 20% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA

Continuación del anexo 8.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
<b>TÍTULO: DESGASTE POR ABRASIÓN EN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>	
PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES S.A. PROCEDENCIA: APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"
FECHA PRUEBA:	07/10/2010 MUESTRA: AGREGADO 3/8" - 3/16"
PARA USARSE EN: DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)	
<b>TIPOS DE ABRASIÓN</b> <b>A B C D E F G</b>	
<b>RESULTADOS</b>	
PESO ANTES:	5000.0
PESO DESPUÉS:	3819.7
DIFERENCIA:	1180.3
% ABRASIÓN	23.6
% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA	18.0
OBSERVACIONES:	
GRAVILLA DE 3/8" - 3/16", 18% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA	


Continuación del anexo 8.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
<b>TÍTULO: DESGASTE POR ABRASIÓN EN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>	
PROYECTO : "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"	
TRAMO: "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.	
EMPRESA: SIGMA CONSTRUCTORES S.A.	PROCEDENCIA: APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"
FECHA PRUEBA: 07/10/2010	MUESTRA: AGREGADO 3/8" - 3/16"
PARA USARSE EN: DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)	
<h2>TIPOS DE ABRASIÓN</h2> <h3>A B C D E F G</h3>	
<b>RESULTADOS</b>	
PESO ANTES:	5000.0
PESO DESPUÉS:	3883.0
DIFERENCIA:	1117.0
% ABRASIÓN	22.3
% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA	30.0
OBSERVACIONES:	
GRAVILLA DE 3/8" - 3/16", 18% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA	

Continuación del anexo 8.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
<b>TÍTULO: DESGASTE POR ABRASIÓN EN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>	
PROYECTO:	"LITORAL PACÍFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES S.A.      PROCEDENCIA:      APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"
FECHA PRUEBA:	07/10/2010      MUESTRA:      AGREGADO 3/8" - 3/16"
PARA USARSE EN: DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)	
<h2>TIPOS DE ABRASIÓN</h2> <h3>A B C D E F G</h3>	
<b>RESULTADOS</b>	
PESO ANTES:	5000.0
PESO DESPUÉS:	4089.5
DIFERENCIA:	910.5
% ABRASIÓN	18.2
% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA	20.0
OBSERVACIONES:	
GRAVILLA DE 3/8" - 3/16", 18% DE PARTICIPACIÓN EN LA MEZCLA	

Continuación del anexo 8.

 <p><b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</p>	<p><b>INFORME DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA</b></p>
<p><b>Título:</b></p>	
<p><b>PROYECTO :</b> "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"</p>	
<p><b>TRAMO:</b> "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.</p>	
<p><b>EMPRESA:</b> SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</p>	
<p><b>FECHA DE PRUEBA:</b> 07/10/2010</p>	
<p><b>PARA USARSE EN:</b> DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm. (3/4") (AC-30 SHELL)</p>	
<p><b>MUESTRA:</b> MEZCLA DE AGREGADOS</p>	
<p><b>PROCEDENCIA:</b> APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"</p>	


Probeta Nº	Hora Inicial de saturación	Hora final de saturación	Tiempo de agitado	Hora llenado de probeta	Hora de lectura final	Lectura de arcilla	Lectura de arena	Equivalente de arena %
1	14:50	15:00	45 seg.	15:02	15:22	7.40	4.00	54.1
2	14:53	15:03	45 seg.	15:05	15:25	6.40	4.10	64.1
3	14:56	15:06	45 seg.	15:08	15:28	6.30	4.00	63.5
<b>PROMEDIO</b>								<b>60.5</b>

**Los tiempos de saturación serán de 10 minutos**  
**Los tiempos de agitado serán de 90 ciclos.**  
**Los tiempos de reposo serán de 20 minutos.**  
**Todos los tiempos deberán ser exactos.**

**OBSERVACIONES:**  
 GRAVA DE 3/4" - 3/8" 42% - GRAVILLA 3/8" - 3/16" 18% - ARENA LAVADA 3/16" - 0" 20%  
 POLVO DE ROCA 3/16" - 0" 20%.



 <b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	
<b>Título: INFORME DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA</b>	
PROYECTO : "LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTORQUE SANTA ELENA BARRILLAS Y ACCESOS"	
TRAMO: "REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.	
EMPRESA: SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.	MUESTRA: POLVO DE ROCA 3/16" - 0"
FECHA DE PRUEBA: 07/10/2010	PROCEDENCIA: APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"
PARA USARSE EN: DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)	

Probeta Nº	Hora inicial de saturación	Hora final de saturación	Tiempo de agitado	Hora llenado de probeta	Hora de lectura final	Lectura de arcilla	Lectura de arena	Equivalente de arena %
1	15:15	15:25	45 seg.	15:27	15:47	6.6	3.8	57.6
2	15:18	15:28	45 seg.	15:30	15:50	6.7	3.8	56.7
3	15:21	15:31	45 seg.	15:33	15:53	6.4	3.7	57.8
								<i>PROMEDIO</i>
								<b>57.4</b>


  

OBSERVACIONES: POLVO DE ROCA 3/16" - 0" 20%

Los tiempos de saturación serán de 10 minutos  
 Los tiempos de agitado serán de 90 ciclos.  
 Los tiempos de reposo serán de 20 minutos.  
 Todos los tiempos deberán ser exactos.

Continuación del anexo 8.

	<b>SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.</b> LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		
<b>TÍTULO: PRUEBAS DE LÍMITES DE PLASTICIDAD Y CONTRACCIÓN LINEAL</b>			
PROYECTO :	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTRONQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"		
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.		
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.		
FECHA DE PRUEBA:	07/10/2010	MUESTRA:	ARENA 3/16" - 0"
PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"	PARA USARSE EN:	CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)

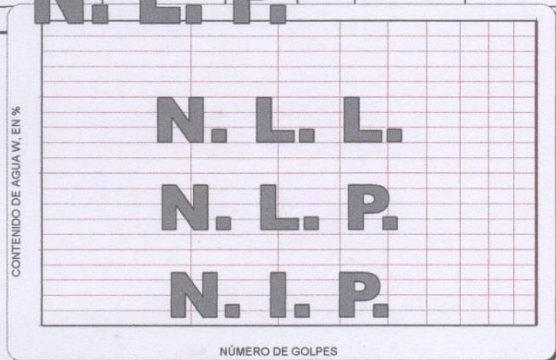
  

LÍMITE LIQUIDO							
CÁPSULA No.	PESO CÁPSULA g	CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	CÁPSULA + SUELO SECO g	AGUA g	SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA %	NUMERO DE GOLPES

LÍMITE PLÁSTICO							
CÁPSULA No.	PESO CÁPSULA g	CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	CÁPSULA + SUELO SECO g	AGUA g	SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA, W %	PROM.


  

VALORES OBTENIDOS, % LÍMITE LÍQUIDO L.L. = <u>    N. L. L.    </u> LÍMITE PLÁSTICO L.P. = <u>    N. L. P.    </u> ÍNDICE PLÁSTICO I.P. = <u>    N. L. P.    </u> CONTRACCIÓN LINEAL C. L. = _____	
---	--

OBSERVACIONES:	ARENA 3/16" - 0" 20%

Continuación del anexo 8.



**SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.**  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

---

**TÍTULO: PRUEBAS DE LÍMITES DE PLASTICIDAD Y CONTRACCIÓN LINEAL**

---

PROYECTO:	"LITORAL PACIFICO - CA-02 ORIENTE EL ZARZALITO - CA-01 - LA ARENERA; CA-01 EL ZARZALITO - EL MOLINO - BARBERENA - ENTROQUE SANTA ELENA BARILLAS Y ACCESOS"
TRAMO:	"REHABILITACION Y CONSTRUCCION DEL TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO Y ACCESOS" - FASE 1: REHABILITACION DE DOS CARRILES Y CONSTRUCCION DE DOS CARRILES ADICIONALES EN EL SUB-TRAMO: BARBERENA - EL MOLINO - ORATORIO.
EMPRESA:	SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.
FECHA DE PRUEBA:	07/10/2010
PROCEDENCIA:	APILAMIENTOS CAMPAMENTO "LA SONRISA"
MUESTRA:	POLVO DE ROCA 3/16" - 0"
PARA USARSE EN:	DISEÑO MARSHALL No. 1, REVISIÓN 02, DE CONCRETO ASFÁLTICO, T.M.A. 19 mm (3/4") (AC-30 SHELL)

**LÍMITE LIQUIDO**

CÁPSULA No.	PESO CÁPSULA g	CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	CÁPSULA + SUELO SECO g	AGUA g	SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA %	NUMERO DE GOLPES

**LÍMITE PLÁSTICO**

CÁPSULA No.	PESO CÁPSULA g	CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	CÁPSULA + SUELO SECO g	AGUA g	SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA, W %	PROM.

VALORES OBTENIDOS, %

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = **N. L. L.**

LÍMITE PLÁSTICO L.P. = **N. L. P.**

ÍNDICE PLÁSTICO I.P. = **N. L. P.**

CONTRACCIÓN LINEAL C. L. =

CLASIFICACIÓN SUCS:

OBSERVACIONES:

POLVO DE ROCA 3/16" - 0" 20%

CONTENIDO DE AGUA W, EN %

<b>N. L. L.</b>
<b>N. L. P.</b>
<b>N. I. P.</b>

NÚMERO DE GOLPES

Fuente: Sigma Constructores, S. A. Laboratorio de Control de Calidad.

197

