

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

**INCIDENCIA DEL ORIGEN DE LOS MATERIALES CALIZOS Y BASÁLTICOS  
EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO MÉTODO  
MARSHALL**

**Marco Antonio Mendoza Ixpanel**  
**Asesorado por el Ing. Omar Enrique Medrano Méndez**

**Guatemala, octubre de 2009**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INCIDENCIA DEL ORIGEN DE LOS MATERIALES CALIZOS Y  
BASÁLTICOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO  
MÉTODO MARSHALL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARCO ANTONIO MENDOZA IXPANEL**

ASESORADO POR EL INGENIERO OMAR ENRIQUE MEDRANO MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Wuilliam Ricardo Yon Chavarria
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio Díaz García
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **INCIDENCIA DEL ORIGEN DE LOS MATERIALES CALIZOS Y BASÁLTICOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO MÉTODO MARSHALL,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
con fecha 17 de abril de 2009

**Marco Antonio Mendoza Ixpanel**



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008846

Guatemala, 23 de septiembre de 2009

Ingeniero  
Francisco Javier Quiñónez de la cruz  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles  
Facultad de Ingeniería, Usac  
Guatemala

Ing. Quiñónez

Por medio de la presente informo a usted que he asesorado y revisado el trabajo de graduación titulado "INCIDENCIA DEL ORIGEN DE LOS MATERIALES CALIZOS Y BASALTICOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO METODO MARSHALL", el cual fue presentado por el estudiante Marco Antonio Mendoza Ixpanel.

El trabajo aporta importantes resultados, así como conclusiones y recomendaciones en lo que se refiere al comportamiento de materiales en el diseño de mezclas asfálticas.

Dicho trabajo cumple con lo establecido y reconociendo la importancia del tema, doy mi respectiva aprobación, agregando que lo encuentro completamente satisfactorio.

Sin otro particular, me suscribo de usted atentamente,



*Omar E. Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez.  
Jefe Sección Mecánica de Suelos, CII  
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 5 de octubre de 2 009

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

Señor Director:

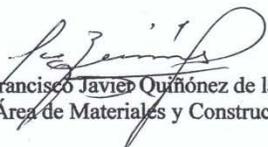
Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación “**Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico Método Marshall**”, realizado por el estudiante universitario **Marco Antonio Mendoza Ixpanel**, quien contó con la asesoría del ingeniero Omar Enrique Medrano Méndez.

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

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

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

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



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

Cc archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Omar Enrique Medrano Méndez y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Marco Antonio Mendoza Ixpanel, titulado INCIDENCIA DEL ORIGEN DE LOS MATERIALES CALIZOS Y BASÁLTICOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO MÉTODO MARSHALL, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, octubre 2009

/bbdeb.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.432.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **INCIDENCIA DEL ORIGEN DE LOS MATERIALES CALIZOS Y BASÁLTICOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO MÉTODO MARSHALL**, presentado por el estudiante universitario **Marco Antonio Mendoza Ixpanel**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy ~~Chyppo~~ Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, octubre de 2009

/gdech

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por darme la salud, sabiduría y entendimiento para alcanzar este logro.
- Mis padres** Por su apoyo moral e incondicional, y darme la oportunidad de educación desde mi infancia.
- Mis hermanos** Por estar siempre conmigo apoyándome siempre en la realización de mis sueños e ideales.
- Mis amigos** Por su amistad, sus consejos y por pasar buenos momentos.
- La Facultad de Ingeniería**  
Por ser fuente de conocimiento y de la creación de nobles ideales.
- El Ing. Omar E. Medrano Méndez**  
Por el asesoramiento en el trabajo de Graduación.
- El Ing. Javier Quiñónez**  
Por el apoyo brindado.

## **DEDICATORIA A:**

- Dios** Por haber estado conmigo en todo momento y lugar ayudándome a conducirme en el camino adecuado y llevar a feliz término mis estudios.
- Mis padres** Walter Oswaldo Mendoza Urrutia, por su amor, cariño y ser ejemplo de hombre trabajador.  
Maura Elizabeth Ixpanel de Mendoza, por su amor, apoyo incondicional y ser ejemplo de superación profesional.
- Mis hermanos** Claudia Elizabeth Mendoza Ixpanel, Oscar Oswaldo Mendoza Ixpanel, Walter Mendoza, Mónica Mendoza.
- Mi sobrinita** Danna Miranda Ramos Mendoza, por ser fuente de inspiración y fortaleza.
- Mis amigos** Por estar siempre presentes ayudándome a ser mejor persona cada día.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XV</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XVII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XIX</b>
<b>1. INVESTIGACIÓN ORIGEN Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES CALIZO Y BASÁLTICO</b>	<b>1</b>
1.1 Investigación origen de los materiales calizos y basálticos en Guatemala	1
1.2 Características de los materiales y su ubicación en el territorio de Guatemala	8
1.3 Bancos de préstamo y acopios de trituración	14
1.3.1 Extracción de material pétreo (roca), los tipos de banco, de origen calizo basáltico y sus diferentes variedades.	16
1.4 Proceso de trituración del material	18
<b>2. GRADUACIÓN DEL MATERIAL DE ACUERDO A LAS NECESIDADES DEL PROYECTO</b>	<b>19</b>

2.1	Funcionamiento de las plantas de trituración de roca, su proceso y calibración.	19
2.2	Análisis y selección de un tipo de graduación en especial	22
<b>3.</b>	<b>ESPECIFICACIONES DE DISEÑO</b>	<b>25</b>
3.1	Especificaciones de “Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de Guatemala” (LIBRO AZUL), normas (ASTM) (AASHTO)	25
3.2	Realización de ensayos de laboratorio al material pétreo, como parámetros de diseño (Características de los agregados), estudio de laboratorio a los materiales calizo y basáltico	38
3.2.1	Granulometría de material grueso	39
3.2.2	Granulometría de material fino	47
3.2.3	Abrasión en máquina de los Ángeles	50
3.2.4	Desintegración al sulfato de sodio	52
3.2.5	Caras fracturadas	54
3.2.6	Partículas planas y alargadas	54
3.2.7	Gravedad específica de gruesos	55
3.2.8	Gravedad específica de intermedios	55
3.2.9	Gravedad específica de finos	60
3.2.10	Peso unitario	62
3.2.11	Equivalente de arena	62
3.2.12	Características del cemento asfáltico	64

**Todos los ensayos realizados de acuerdo a normas  
ASTM y normas AASHTO.**

<b>4.</b>	<b>DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL PARA EL MATERIAL CALIZO Y BASÁLTICO</b>	<b>65</b>
<b>4.1</b>	Introducción al diseño mezclas asfáltica, características del método Marshall, cálculos y procesos correspondientes	<b>65</b>
4.1.1	Integración de materiales de acuerdo a un tipo específico de gradación	<b>70</b>
4.1.2	Cálculos de gravedades específicas de los materiales	<b>75</b>
4.1.3	Análisis de % de AC convenientes a utilizar	<b>76</b>
4.1.4	Realización de probetas de mezclas con diferentes porcentajes de cemento asfáltico	<b>78</b>
4.1.5	Compactación de probetas	<b>81</b>
4.1.6	Curado de probetas	<b>82</b>
4.1.7	Ensayo de probetas	<b>83</b>
<b>4.2</b>	<b>Cálculo de características de la mezcla</b>	<b>85</b>
4.2.1	Gravedad específica Bulk de briqueta (Gmb)	<b>85</b>
4.2.2	Gravedad específica máxima (RICE)	<b>89</b>
4.2.3	Gravedad específica de agregados	<b>90</b>

4.2.4	Absorción de asfalto, porcentaje	91
4.2.5	Asfalto efectivo, porcentaje	93
4.2.6	Vacios de agregado mineral (VAM)	94
4.2.7	Vacios	96
4.2.8	Vacios rellenos de asfalto (VFA)	97
4.2.9	Estabilidad	99
4.2.10	Flujo	101
4.2.11	Relación estabilidad flujo	102
<b>4.3</b>	<b>Gráficas ilustrativas de comportamiento del material con distintos % de cemento asfáltico, para el material calizo y basáltico por separado</b>	
4.3.1	Gráfica densidad contra % de asfalto	103
4.3.2	Gráfica % de vacios contra % de asfalto	104
4.3.3	Gráfica VAM contra % de asfalto	105
4.3.4	Gráfica V.R.A contra % de asfalto	106
4.3.5	Gráfica estabilidad contra % de asfalto	107
4.3.6	Gráfica flujo (0.01") contra % de asfalto	108
4.3.7	Gráfica estabilidad/flujo contra % de asfalto	109
4.3.8	Cálculo de características volumétricas de mezcla	110
<b>5.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>111</b>
5.1	Resultados obtenidos, resultados de las especificaciones análisis y evaluación de los resultados	111

<b>6. CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO</b>	<b>117</b>
<b>6.1 Laboratorio. Ensayos de control de calidad</b>	<b>117</b>
6.1.1 Extracción de bitumen	120
6.1.2 Estabilidad Marshall	124
6.1.3 Densidad de pastilla o briqueta	125
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>131</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>133</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>135</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>137</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Extracción de material y planta trituradora	17
2.	Planta de trituración de roca caliza	23
3.	Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico	29
4.	Requisitos de graduación para el polvo mineral	30
5.	Especificaciones del cemento asfáltico	31
6.	Requisitos para la mezcla de concreto asfáltico	32
7.	Vacíos en el agregado mineral (VAM)	33
8.	Cantidad de cemento asfáltico (ASTM D 3515)	33
9.	Tolerancia de variación de materiales	37
10.	Resultado de granulometría de material calizo de $\frac{3}{4}$ a $\frac{3}{8}$ .	43
11.	Resultado de granulometría de material basáltico de $\frac{3}{4}$ a $\frac{3}{8}$ .	44
12.	Resultado de granulometría de material calizo de $\frac{3}{8}$ a $\frac{1}{4}$ .	45
13.	Resultado granulometría de material basáltico de $\frac{3}{8}$ a $\frac{1}{4}$ .	46
14.	Resultado de granulometría de finos, de material de origen calizo de $\frac{1}{4}$ a 0	48
15.	Resultado de granulometría de finos, de material de origen basáltico de $\frac{1}{4}$ a 0	49
16.	Graduación y especificaciones para el ensayo de abrasión	50
17.	Graduación y cálculo del ensayo de sulfato de sodio (ASTM C-88)	52
18.	Integración de materiales de origen calizo, a una curva tipo D	71
19.	Integración de materiales de origen basalto, a una curva tipo D	72
20.	Gráfico granulométrico de integración de materiales de origen calizo	73

21. Gráfico granulométrico de Integración de materiales de origen basáltico	74
22. Calentamiento de agregados de y AC	79
23. Mezclado de agregados y AC	79
24. Colocación de mezcla asfáltica en moldes precalentados	80
25. Mezcla asfáltica colocada en molde, antes de ser compactada	80
26. Compactación de pastilla	81
27. Enfriamiento de pastillas	81
28. Curado de probetas antes de ser ensayadas en la máquina Marshall	82
29. Colocación de pastillas en baño maría antes de ser ensayadas	82
30. Ensayo de probetas en máquina Marshall	84
31. Máquina Marshall	84
32. Análisis de resultado diseño de mezcla asfáltica material calizo	113
33. Análisis de resultado diseño de mezcla asfáltica material basáltico	114

## **TABLAS**

<b>I.</b>	Comparación de las propiedades de los agregados de origen calizo y los agregados de origen basáltico usados en el estudio	11
<b>II.</b>	Resultados de ensayo de abrasión material de origen calizo	51
<b>III.</b>	Resultados de ensayo de abrasión material de origen basáltico	51
<b>IV.</b>	Resultado de ensayo desintegración al sulfato de sodio de material de origen calizo	53
<b>V.</b>	Resultado de ensayo desintegración al sulfato de sodio del material de origen basáltico	53
<b>VI.</b>	Resultado de ensayo de partículas planas y alargadas del material calizo y basáltico	54
<b>VII.</b>	Resultado de gravedades específicas del agregado grueso de origen calizo	57
<b>VIII.</b>	Resultado de gravedades específicas del agregado grueso de origen basáltico	57
<b>IX.</b>	Resultado de gravedades específicas del agregado intermedio de origen calizo	59
<b>X.</b>	Resultado de gravedades específicas del agregado intermedio de origen basáltico	59
<b>XI.</b>	Resultado de gravedades específicas del Agregado fino de origen calizo	61
<b>XII.</b>	Resultado de gravedades específicas del agregado fino de origen basáltico	61
<b>XIII.</b>	Resultado de ensayo de peso unitario de material calizo y basáltico	62

<b>XIV.</b>	Resultados de el ensayo de equivalente de arena, material de origen calizo	63
<b>XV.</b>	Resultados de el ensayo de equivalente de arena, material de origen basáltico	63
<b>XVI.</b>	Ejemplo proporcionamiento exacto de agregado pétreo calizo y AC	77
<b>XVII.</b>	Ejemplo proporcionamiento exacto de agregado pétreo basáltico y AC	77
<b>XVIII.</b>	Gmb de briquetas de diseño de concreto asfáltico de material calizo	87
<b>XIX.</b>	Gmb de briquetas de diseño de concreto asfáltico de material basáltico	88
<b>XX.</b>	Gmm de briquetas del diseño de mezcla con material calizo y basáltico	89
<b>XXI.</b>	Gse de la mezcla de agregados para el material calizo y basáltico	91
<b>XXII.</b>	Contenido de asfalto absorbido, del material calizo y basáltico	92
<b>XXIII.</b>	Contenido de asfalto efectivo del material calizo y basáltico	94
<b>XXIV.</b>	Valores de VMA de diseño de mezcla con material calizo y basáltico	95
<b>XXV.</b>	Valores de vacios de diseño de mezcla con material calizo y basáltico	97
<b>XXVI.</b>	Valores de vacios rellenos de asfalto (VRA)	98
<b>XXVII.</b>	Valores de estabilidad de diseño de mezcla con material calizo y basáltico	100
<b>XXVIII.</b>	Valores de fluencia de diseño de mezcla con material calizo y basáltico	101
<b>XXIX.</b>	Valores de estabilidad / fluencia de diseño de mezcla con material calizo y basáltico	102

## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	Siglas que corresponden a la entidad Americana “AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIAL”.
<b>AC</b>	Cemento Asfáltico. Un material procedente del petróleo.
<b>Agregado</b>	Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria, la roca triturada, usada para ser mezclado en diferentes tamaños.
<b>Asfalto</b>	Un material cementante, entre carmelito oscuro y negro, en la cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento del petróleo.
<b>ASTM</b>	Siglas que corresponden a la entidad Americana “AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS”. (SOCIEDAD AMERICANA PARA PRUEBAS Y MATERIALES).
<b>Banco de grava</b>	Grava que se encuentra en depósitos naturales y usualmente mezclada en mayor o menor cantidad con material fino, como la arena o la arcilla, resultando en diferentes combinaciones.

<b>Basalto</b>	Roca ígnea de grano fino en la que predominan los minerales de color oscuro, que consisten de más de 50% de feldespatos plagioclasas y el resto de silicatos ferromagnésicos. Los basaltos y la andesita representan aproximadamente el 98% de todas las rocas extrusivas.
<b>Bitumen</b>	Un tipo de sustancia cementante de color negro oscuro (sólida, semisólida, o viscosa), natural o fabricada, compuesta generalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos los asfaltos, las breas y betunes.
<b>Caliza</b>	La más común de las rocas sedimentarias no clástica, en su mayoría han sido formadas por acumulación de conchas, esqueletos de organismos y principalmente por carbonato de calcio.
<b>Cantera</b>	Es el lugar donde la roca se separa de sus lechos naturales y se prepara para su utilización en la industria de la construcción, es el lugar de donde se extrae el material pétreo usado en la elaboración de mezclas asfálticas.
<b>Concreto asfáltico</b>	Una mezcla en caliente, muy bien controlada de cemento asfáltico de alta calidad y agregado bien graduado (también de alta calidad) compactada muy bien para formar una masa densa y uniforme.

**Control  
de calidad**

Se refiere a la inspección o supervisión de que las cosas se estén realizando de acuerdo a lo estipulado o planeado, buscando con esto que el producto, bien o servicio sea de alta eficiencia y calidad.

**Cb** % de cemento asfáltico usado en la proporción de pastillas de diseños de mezcla asfáltica.

**Cs** % de agregado pétreo ya graduado usado en la proporción de pastillas de diseños de mezclas asfáltica.

**Cbe** Contenido de asfalto efectivo, característica volumétrica de la mezcla compactada.

**Cba** Contenido de asfalto absorbido, característica volumétrica de la mezcla compactada.

**Gb** Gravedad específica del cemento asfáltico

**Gmb** Gravedad específica bruta de la mezcla.

**Gmm** Gravedad específica teórica máxima de la mezcla.

**Gsa** Gravedad específica aparente de los agregados.

**Gsb** Gravedad específica bruta o total de los agregados.

**Gse** Gravedad específica efectiva de los agregados.

<b>Pb</b>	Peso de asfalto, característica volumétrica de la mezcla compactada.
<b>Pba</b>	Peso de asfalto absorbido, característica volumétrica de la mezcla compactada.
<b>Pbe</b>	Peso de asfalto efectivo, característica volumétrica de la mezcla compactada.
<b>Ps</b>	Peso de agregado, característica volumétrica de la mezcla compactada.
<b>Va</b>	Volumen de vacíos de aire, de mezcla compactada
<b>VAM</b>	Volumen de vacíos de aire de agregado mineral.
<b>Vb total</b>	Volumen de asfalto total, de mezcla compactada.
<b>Vba</b>	Volumen de asfalto absorbido, de mezcla compactada.
<b>Vbe</b>	Volumen de asfalto efectivo, de mezcla compactada.
<b>Vsb</b>	Volumen bruto de agregado.
<b>Vse</b>	Volumen efectivo de agregado.

## RESUMEN

Se requiere evaluar el comportamiento de los materiales calizos y basálticos para poder optimizar y potencializar su uso en el diseño de mezclas de concreto asfáltico, para lograr que las mismas sean de más calidad y más duraderas, logrando con esto reducir los costos de los diferentes proyectos de construcción de carreteras en el país, beneficiando así a la economía del mismo.

Muchas ocasiones el conductor ha notado la diferencia cuando circula en una carretera, ya que observa muchas veces que el pavimento flexible, es bastante claro y otras veces el pavimento es bastante oscuro, sucede esto porque varias veces el pavimento esta realizado con mezclas asfálticas hechas con material calizo (blancos o grises) y otras veces esta realizado con materiales basálticos (negros) que tienen alguna incidencia en el comportamiento final del pavimento.

Dado que en los proyectos que se desarrollan en el territorio nacional, no siempre se puede contar con el tipo de material que se necesite o se desea tener, ya sea porque no esté disponible en el lugar o porque el costo de transportarlo hasta el lugar es muy alto, entonces se debe utilizar el material con que se cuente y optimizar en la medida de lo posible sus capacidades, en este trabajo se da un estudio comparativo entre el comportamiento de materiales de origen calizo y basáltico en el diseño de mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall, que es representativo para la mayoría de materiales calizos y basálticos presentes en el territorio nacional.



## **OBJETIVOS**

### **General**

- Evaluar el comportamiento de los materiales calizos y basálticos, en el diseño de mezclas de concreto asfáltico y conocer las características y cualidades de dichos materiales.

### **Específicos:**

1. Conocer el comportamiento de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico en caliente.
2. Evaluar las ventajas de utilizar un pavimento flexible hecho con mezcla asfáltica usando material calizo y material basáltico.
3. Detallar los ensayos, cálculos y proceso teórico práctico involucrado en el diseño de mezclas de concreto asfáltico en caliente.



## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se plantea el estudio de las diferencias y características que presentan los materiales pétreos de origen calizo y los de origen basáltico a la hora de ser combinados con distintos porcentajes de cemento asfáltico, en la conformación de mezclas de concreto asfáltico, y para esto se trabaja con el método de diseño Marshall.

En la presente investigación, se desea dar a conocer de una manera lógica y sistemáticamente todos los procedimientos para elaborar una mezcla asfáltica de calidad, desde la ubicación de un banco de préstamo hasta la colocación de la mezcla. Se inicia con una investigación de los materiales calizos y basálticos en Guatemala, luego la ubicación de los bancos de préstamo y acopios de trituración de materiales calizo y basáltico, graduación del material de acuerdo a las necesidades del proyecto y especificaciones de diseño. Se realizaron ensayos de laboratorio al material pétreo, como parámetros de diseño (características de los agregados) del material calizo y basáltico, comparaciones de características y calidad, todos estos ensayos realizados de acuerdo a normas ASTM y normas AASHTO.

También se realizó diseño de mezclas de concreto asfáltico en caliente método Marshall para los dos tipos de materiales, características de la mezcla, resultados obtenidos, parámetros de las especificaciones. Control de calidad de la mezcla de concreto asfáltico y laboratorio.

Los principales logros obtenidos fueron el poder verificar la alta afinidad del asfalto con el material basalto y conocer el comportamiento de este en una mezcla asfáltica.



# **1. ORIGEN Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES CALIZOS Y BASÁLTICOS**

## **1.1 Origen de los materiales ígneos (basalto) y sedimentarios (calizos)**

Los agregados triturados calizos son procedentes de rocas sedimentarias del tipo calcáreas. Los agregados triturados basálticos son procedentes de rocas ígneas del tipo extrusivas (de grano fino).

Para comenzar a entender los orígenes y la formación de rocas sedimentarias, es necesario que recordemos la meteorización de las rocas, la meteorización de las rocas existentes inicia el proceso, a continuación, agentes erosivos como las aguas de escorrentía, el viento, las olas y el hielo extraen los productos de meteorización y los transportan a una nueva localización, donde son depositados.

Normalmente las partículas se descomponen aún más durante la fase de transporte después de la sedimentación, este material, que se denomina ahora sedimento. En la mayoría de los casos el sedimento se litifica en roca sedimentaria, mediante los procesos de compactación y cementación. Por lo tanto, los productos de la meteorización de mecánica y química constituyen la materia prima para la roca sedimentaria. La palabra sedimentaria indica la naturaleza de esas rocas, pues deriva de la palabra latina sedimentum, que hace referencia al material sólido que se deposita a partir de un fluido (agua o aire).

Los geólogos calculan que las rocas sedimentarias representan solo alrededor del 5% (en volumen) de los 16 km externos de la tierra. Sin embargo, su importancia es bastante mayor de lo que podría indicar este porcentaje. Si tomáramos muestras de las rocas expuestas en la superficie, encontraríamos que la gran mayoría son sedimentarias. De hecho alrededor del 75% de todos los afloramientos de roca de los continentes está compuesto por rocas sedimentarias. Por consiguiente, podemos considerar las rocas sedimentarias como una capa, algo discontinua y relativamente delgada de la porción más externa de la corteza. Este hecho se entiende con facilidad cuando consideramos que el sedimento se acumula en la superficie.

Dado que los sedimentos se depositan en la superficie terrestre, las capas de roca que finalmente se forman contienen evidencias de acontecimientos pasados que ocurrieron en la superficie. Por su propia naturaleza, las rocas sedimentarias contienen en su interior indicaciones de ambientes pasados en los cuales se depositaron sus partículas y, en algunos casos, pistas de los mecanismos que intervinieron en su transporte. Además, las rocas sedimentarias son las que contienen los fósiles, herramientas vitales para el estudio del pasado geológico. Por tanto, es fundamentalmente este grupo de rocas a partir del cual los geólogos deben reconstruir los detalles de la historia de la tierra.

Por último, debe mencionarse la gran importancia económica de muchas rocas sedimentarias. El carbón, que se quema para proporcionar una porción significativa de la energía eléctrica de Estados Unidos, es una roca sedimentaria. Nuestras otras fuentes principales de energía, el petróleo y el gas natural, están asociadas con las rocas sedimentarias.

El sedimento tiene dos orígenes principales. En primer lugar, el sedimento puede ser una acumulación de material que se origina y es transportado en forma de clastos sólidos derivados de la meteorización mecánica y química. Los depósitos de este tipo se denominan detríticos y las rocas sedimentarias que se forman, rocas sedimentarias detríticas. La segunda fuente principal del sedimento es el material soluble producido en gran medida mediante meteorización química. Cuando estas sustancias disueltas son precipitadas mediante procesos orgánicos o inorgánicos el material se conoce como sedimento químico y las rocas formadas a partir de él se denominan rocas sedimentarias químicas.

Las rocas ígneas constituyen la mayor parte de la corteza terrestre. De hecho con la excepción del núcleo exterior líquido, la porción sólida restante de nuestro planeta es básicamente una enorme roca ígnea parcialmente cubierta por una delgada capa de roca sedimentaria. Por consiguiente, para comprender la estructura, composición y funcionamiento interno de nuestro planeta es esencial un conocimiento básico de las rocas ígneas.

En nuestro análisis del origen de las rocas podemos mencionar que las rocas ígneas (de latín ígneas, o "fuego") se forman conforme se enfría y solidifica una roca fundida. Abundantes pruebas apoyan el hecho de que el material pariente de las rocas ígneas denominado magma, se forma por un proceso denominado fusión parcial. La fusión parcial se produce a varios niveles dentro de la corteza terrestre y el manto superior a profundidades que pueden superar los 200 kilómetros.

En función de las pruebas científicas disponibles, la corteza y el manto terrestre están compuestos fundamentalmente de rocas solidas no fundidas, aunque el nucleó es fluido, está formado por un material rico en hierro muy denso y que está situado a bastante profundidad dentro de la tierra. Así pues, ¿cuál es el origen de los magmas que producen la actividad ígnea?

Los geólogos proponen que los magmas se originan cuando se funden rocas esencialmente solidas, localizadas en la corteza y el manto superior. La forma más obvia para generar magma a partir de roca solida consiste en elevar la temperatura por encima del punto de fusión de la roca. En un ambiente próximo a la superficie las rocas graníticas ricas en sílice empiezan a fundirse a temperaturas de unos 750 °C, mientras que las rocas basálticas deben ser calentadas a temperaturas superiores a los 1000 °C, antes de comenzar a fundirse.

Además de un aumento de la temperatura, una roca que esta próxima a su punto de fusión puede empezar a fundirse si disminuye la presión de confinamiento o si se introducen líquidos (volátiles), consideremos el papel que desempeñan la generación de de magmas, el calor, la presión y las sustancias volátiles.

Una vez que se forma suficiente roca fundida, hacendera flotando hacia la superficie. En un ambiente continental, el cuerpo magnatico puede “estancarse” debajo de las rocas de la corteza, estas muy cerca de su temperatura de fusión. Esto provoca la generación de magma secundario rico en silicio.

En resumen, los magmas pueden generarse bajo tres tipos de condiciones:

- 1- Por aumento de la temperatura; por ejemplo, un cuerpo magnético de una fuente profunda se introduce y funde las rocas de la corteza.
- 2- Una disminución de la presión (sin la adición de calor) puede causar la fusión.
- 3- La introducción de volátiles (principalmente agua) puede reducir la temperatura de fusión de la roca del manto lo bastante como para generar un fundido.

En cuanto a la formación de rocas ígneas podemos separar la formación en tres grandes grupos los cuales serían:

- 1- Formación de magmas máficos (basálticos).
- 2- Formación de magmas intermedios (andesíticos).
- 3- Formación de magmas félsicos (graníticos).

Para el propósito de esta investigación evaluaremos únicamente la formación de magmas máficos (basálticos).

Formación de magmas máficos (basálticos), la mayor parte de los magmas máficos se originan a partir de la fusión parcial de rocas ultramáficas peridotitas, que son el principal constituyente del manto superior. Según los estudios de laboratorio, la fusión parcial de la roca seca y pobre en sílice, produce un magma de una composición basáltica.

Dado que las rocas del manto existen en ambientes que se caracterizan por temperaturas y presiones elevadas, la fusión a menudo es consecuencia de una reducción de la presión de confinamiento. Esto puede producirse, por ejemplo, en los lugares donde las rocas del manto ascienden como parte del flujo convectivo de movimiento muy lento. Dado que los magmas basálticos se forman a muchos kilómetros por debajo de la superficie, como cabría esperar que la mayor parte de este material se enfriara y se cristalizara antes de alcanzar la superficie. Sin embargo, conforme el magma basáltico anhídrico migra hacia arriba, la presión de confinamiento disminuye proporcionalmente y reduce la temperatura de fusión. La mayor parte de los magmas basálticos ascienden lo bastante rápido como para que, conforme entran en ambientes más fríos, la pérdida de calor sea compensada por una disminución de la temperatura de fusión. Por consiguiente, en la superficie de la tierra son comunes los grandes flujos de magmas basálticos.

Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, o a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (como es el caso de las areniscas y la arcilla esquistosa), de residuos de productos animales (**algunas calizas**), de plantas (carbón) de los productos finales de una acción química.

Dos términos que usualmente se aplican a rocas sedimentarias son silíceas y calcáreas. Rocas sedimentarias silíceas son aquellas que contienen un porcentaje alto de sílice, que son pocas. Aquellas rocas que contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio son las (calizas), que son llamadas calcáreas que son las que analizaremos en esta investigación junto con las de origen basáltico.

Las rocas sedimentarias se encuentran característicamente en capas (estratos), dentro de la corteza terrestre. Esta estratificación es el resultado directo de la manera en que se forman las rocas sedimentarias, a partir de depósitos de partículas finas, generalmente sedimentados sobre el fondo de lagos o mares antiguos. Las rocas ígneas constan de material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado. Hay dos tipos de rocas ígneas extrusivas e intrusivas.

Las rocas ígneas extrusivas son formadas a partir del material que se ha vertido fuera, sobre la superficie terrestre, durante alguna erupción volcánica o alguna actividad geológica similar la roca resultante tiene una apariencia y estructura vidriosa, debido a que el material se enfría rápidamente al ser expuesto a la atmosfera. La riolita, la andesita y el **(basalto)** son ejemplo de rocas extrusivas.

Las rocas intrusivas, por otro lado se forman a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Al ser atrapado en la corteza, el magma se enfría y se endurece lentamente permitiendo la formación de una estructura cristalina. En consecuencia la roca ígnea intrusiva es cristalina en estructura y apariencia, siendo ejemplos el granito, la diorita y el gabro.

Los movimientos terrestres y los procesos de erosión traen rocas, rocas intrusivas a la superficie terrestre donde pueden ser explotadas en cantera y posteriormente usadas.

## **1.2 Características de los materiales calizos y basálticos y su ubicación en el territorio de Guatemala**

El análisis de los materiales se debe de hacer ya como agregado triturado, ya que así es como se trabaja, en una mezcla asfáltica en caliente densamente graduada el agregado conforma el noventa al noventa y cinco por ciento, en peso de la mezcla asfáltica. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación. Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aún más un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades o características para poder ser considerado apropiado para un pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

- Graduación y tamaño máximo de partícula
- Limpieza
- Dureza
- Forma de partícula
- Textura de la superficie
- Capacidad de absorción
- Afinidad con el asfalto
- Peso específico

La limpieza del agregado se refiere a las cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, etc.) en el agregado, las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento.

La dureza de los agregados es importante, deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste abrasivo) y degradación durante la producción, colocación y compactación de la mezcla de pavimentación. El ensayo de desgaste de Los Ángeles (AASHTO T-96) mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión.

La forma de la partícula es también otro factor importante, ya que afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente se da con partículas de bordes puntiagudos y de forma cubica, producidas, casi siempre por trituración.

La textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula, una textura áspera como la del papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas. Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento, debido a que generalmente contienen superficies lisas. El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula.

Capacidad de absorción, todos los agregados son porosos y algunos más que otros, la cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad.

La capacidad de un agregado de absorber agua (o asfalto) es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las partículas de agregado. Debido a esto un agregado poroso requiere cantidades muchos mayores de asfalto que las requiere un agregado menos poroso.

Los agregados altamente porosos y absorbentes no son normalmente usados, a menos que posean otras características que los hagan deseables, a pesar de su alta capacidad de absorción. Algunos ejemplos de dichos materiales son la escoria de alto horno y ciertos agregados sintéticos. Afinidad por el asfalto, la afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto, las calizas, las dolomías, y las rocas trapecanas (Basalto), tienen alta afinidad con el asfalto.

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

Existen varios ensayos para determinar la afinidad de un agregado al asfalto y su tendencia al desprendimiento uno de ellos es el ensayo de revestimiento (stripping).

**Tabla I. Comparación de las propiedades de los agregados de origen calizo y los agregados de origen basáltico usados en el estudio**

<b>EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS</b>		
propiedades	agregado calizo	agregado basáltico
Dureza	Agregado de alta dureza, 95%	Agregado de alta dureza, 100%
Forma de la partícula	100% triturado más de 2 caras fracturadas	100% triturado más de 2 caras fracturadas
Textura de superficie	75% áspera y un 25% lisa, debido a composición de la roca	100 áspera Debido a composición de la roca
Capacidad de absorción	Capacidad de absorción relativamente baja	Capacidad de absorción relativamente baja
Afinidad con el asfalto	80% de afinidad con el asfalto	100 % afinidad con el asfalto
Desvestimiento	80%, permanecen perfectamente cubiertas	99% permanecen perfectamente cubiertas

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

En Guatemala dominan dos orientaciones estructurales a saber, la primera un arco este - oeste, convexo hacia el sur, de rocas cristalinas y sedimentarias paleozoicas y mesozoicas que se extiende desde Chiapas hacia el mar Caribe. La segunda un alineamiento noreste-sureste a través de América Central, representado por rocas volcánicas terciarias-recientes, acentuado por una hilera de conos cuaternario.

Las regiones que dominan estas orientaciones se les llama respectivamente sierras del norte de América Central y la provincia volcánica. Hacia el norte se encuentra la cuenca sedimentaria del Petén. Aunque esta cuenca muestra alineamientos similares a la cordillera Centro Americana, tiene afinidad más fuerte con la costa del golfo de México.

Así mismo en el territorio de Guatemala se distinguen cuatro provincias fisiográficas, que son de sur a norte:

- 1) La planicie costera del Pacífico.
- 2) La provincia volcánica o cinturón volcánico.
- 3) La Cordillera Central de Guatemala.
- 4) Las tierras bajas del Petén.

Las cuales se describen brevemente a continuación:

### **1) La planicie costera del Pacífico**

A lo largo del litoral del Pacífico, los productos de las tierras altas volcánicas, han creado una planicie costera con un ancho promedio de 50 kilómetros.

### **2) La provincia volcánica o cinturón de fuego**

La provincia volcánica cubre la parte occidental, sur y oriental de Guatemala, extendiéndose hacia las otras repúblicas centroamericanas. Esta zona se caracteriza por sus altas montañas, por su cadena de altos conos y domos, varios de ellos todavía activos, como por ejemplo los volcanes, Santiaguito , Fuego y Pacaya, que se encuentran alineados entre el plano costero del Pacífico y un cinturón de rocas volcánicas entre los cuales se encuentra el basalto, al otro lado; aquí en esta franja se encuentran también las enormes cuencas que contienen los lagos de Atitlán, Amatitlán y Ayarza y anchos valles planos, profundamente rellenos con depósitos de pómez y cuaternarios, como los de Chimaltenango, Tecpán, Chichicastenango, el Quiché, Guatemala y Quetzaltenango.

### **3) La Cordillera Central de Guatemala**

La faja de rocas plutónicas, metamórficas y sedimentarias plegadas con alguna presencia de calizas en las partes de Alta Verapaz, que se extiende a través del centro del país. Se ha llamado la “Cordillera Central de Guatemala”; esta forma parte del sistema cordillerano que se desarrolla desde Chiapas hasta las islas de la bahía en Honduras.

#### **4) Las tierras bajas del Petén**

Las tierras bajas del Petén representan un área de bosque tropical húmedo con elevaciones promedio de 100 metros formado por sedimentos mesozoicos y terciarios levemente plegados sobre calizas y dolomías cretácicas donde se desarrollo un relieve karst extenso, dando lugar a terrenos muy accidentados. Debido al drenaje subterráneo hay amplias regiones sin suministro de agua durante la estación seca. En ciertas partes del bosque tropical cede el terreno a amplias sabanas con pinos esparcidos y cerritos calcáreos de tipo Karst, que sobresalen de 30 a 100 metros sobre la planicie de la sabana.

#### **1.3 Bancos de préstamo y acopios de trituración**

El ingeniero podrá ser responsable de supervisar el procesamiento de agregados cuando la fuente de los agregados usados en el proyecto de pavimentación este localizada cerca del lugar, donde se encuentra la planta. Dicho procesamiento consiste en excavar las capas de suelo (sobrecarga) encontradas sobre los depósitos de grava, trabajar los depósitos para obtener agregados adecuados y separar en pilas las partículas de agregado.

Los procedimientos para manejar y acopiar las reservas de agregado, varían de obra en obra, debido a que la mayoría de las agencias contratantes no tienen especificaciones para dichos procedimientos. En vez de ello la agencia requiere usualmente que el contratista cumpla con las especificaciones de graduación para el agregado.

Estas especificaciones tendrán que ser cumplidas ya sea durante la elaboración o acopio de reservas del agregado, o cuando la mezcla de pavimentación sea producida y colocada.

En cualquier caso el ingeniero supervisor deberá estar al tanto de cómo las prácticas de manejo y acopios de reservas (tanto buenas y malas) afectan la selección del agregado.

El muestreo y las pruebas son los únicos medios de verificar si las especificaciones están siendo cumplidas, aún si estas requieren que el agregado cumpla con graduaciones durante la fabricación, acopio de reservas o producción de mezcla. Para garantizar que las muestras seleccionadas sean representativas, se deben seguir ciertos procedimientos de muestreo.

El ingeniero deberá familiarizarse con los datos geológicos relacionados con el depósito de agregado y con las especificaciones que han sido establecidas, para trabajar con el mismo, siempre que este supervisando la producción de agregado.

### **1.3.1 Extracción de material pétreo (roca), estudio de tipos de bancos, de origen calizo, bancos de origen basáltico**

El ingeniero deberá familiarizarse con los datos geológicos relacionados con el depósito de agregado y con las especificaciones que han sido establecidas, para trabajar con el mismo, siempre que este supervisando la producción de agregado.

Cuando se trate de arenas o gravas, se deberá tener un cuidado especial al remover el suelo de destape (suelo que cubre el depósito) para no contaminar el agregado. Esto es particularmente importante cuando el suelo de destape o (descapote) contiene arcilla, vegetación, o algún otro material que puede afectar desfavorablemente el comportamiento del mismo, puede que algún material de destape proporcione un relleno mineral aceptable; sin embargo rara vez este material podría producir una mezcla de agregado con la adecuada proporción de relleno mineral sin tan solo se añade al depósito de agregado a medida que este es removido. En consecuencia cualquier material de destape que sea adecuado para ser usado como relleno mineral, deberá ser removido del depósito, tamizado y añadido posteriormente al agregado ya procesado, este método permite un control cuidadoso en la mezcla final, del contenido de relleno mineral. Con cierta frecuencia, las operaciones en las excavaciones y canteras deben efectuarse alrededor de lentes de arcilla (depósitos en forma de lente) y vetas (capas) de arcilla esquistosa y otros depósitos de materiales indeseables que forman parte del depósito del agregado.

En este caso la excavación del agregado puede tener que efectuarse a lo largo de un marco (nivel) horizontal o de abajo hacia arriba sobre una cara vertical del depósito, para evitar contaminación del agregado y poder garantizar una graduación uniforme.

Después del triturado y el tamizado es esencial evaluar completamente los agregados producidos para averiguar si cumplen con los requisitos de calidad y graduación. En instalaciones comerciales donde la producción del agregado es más o menos continua a través de la temporada de pavimentación, es suficiente llevar a cabo una o dos evaluaciones de calidad cada temporada.

**Figura 1. Extracción de material y planta trituradora**



#### **1.4 Proceso de trituración del material**

El proceso de trituración del material es básico, ya que después de haber localizado una cantera, se extrae roca de la misma, y esa roca pasa a un proceso de trituración primario, secundario y algunas veces hasta terciario pero esto será visto más a detalle en el capítulo dos.

## **2. GRADUACIÓN Y MANEJO DEL MATERIAL DE ACUERDO A LAS NECESIDADES DEL PROYECTO**

### **2.1 Funcionamiento de las plantas de trituración de roca, su proceso calibración y la selección con base a un análisis de los diferentes tamaños de material**

En las operaciones de producción de concreto asfáltico en caliente no podemos olvidar una parte fundamental en todo este proceso, que es la producción de agregados, el material duro y resistente para uso en la construcción que se puede producir, procedente de cantera, le denominaremos “áridos” o agregados y forman los materiales básicos y de mayor porcentaje en la elaboración de mezclas de concreto asfáltico, en la elaboración de concreto hidráulico, en sub drenajes, en los hombros, y carpetas de rodadura; los áridos soportan la principales tensiones que se producen en la carretera y han de resistir el desgaste por rozamiento en la superficie.

Los áridos son fragmentos y partículas minerales inertes que forman la estructura principal de una mezcla tal como: concreto asfáltico, macadam de alquitrán u hormigón hidráulico, la producción de materiales áridos para carretera se lleva a cabo en dos formas diferentes:

- Producción de agregados en canteras de piedra triturada
- Producción de agregados en cantera de grava rodada y cantera

La producción de agregados dependerá del tipo de roca que se explota, el tamaño de la cantera y otros factores variables. La cantera antigua está formada por solo una trituradora y una cribadora, la moderna cantera es un sistema moderno bastante más complejo.

**La forma de producción en términos generales es la siguiente:**

- A. Se quita el suelo y la roca no aprovechable de la parte superior de la cantera y sobre capa, hasta por lo menos cinco o diez metros del frente de trabajo, pues de otra forma la roca útil quedaría contaminada.
- B. Se emplea barrenos especiales, manos de mica a la cual se le adapta un barreno especial y explosivo procurando que no afecten la calidad de la roca.
- C. Cuando los pedazos de la roca obtenidos son muy grandes para ser manipulados por la trituradora, se procede a nuevas divisiones por medio de explosivos u otros dispositivos, los que se pueden colocar en agujeros barrenados o bien pegándolos a la superficie por medio de pegotes (parches).
- D. La carga del material se puede hacer a mano en camiones o volquetes, método útil aunque tardado porque separa el árido de mala calidad; generalmente la carga del material se realiza por medio de palas frontales con capacidad de hasta 4 metros cúbicos.

La forma de la trituración se lleva a cabo en dos fases con el objeto de reducir el tamaño de la roca arrancada, es decir que existen dos clases de triturado.

- **Primarios**
- **Secundarios**

Con las trituradoras primarias el tamaño del material se reduce a unos 15 centímetros más o menos. Para la secundaria, la dimensión llega hasta la forma comercial y requerida por las especificaciones. Todo el proceso de producción de áridos o agregados tendera a fracturar el material en forma lo más cubica posible, influyendo para esto los siguientes factores:

- A. Que la clase de piedra o roca fracture adecuadamente.
- B. Una relación de reducción baja en cada etapa de trituración.
- C. Separación de los fragmentos con forma inadecuada y de los finos que se producen en la trituración primaria.
- D. Una alimentación regulada de todas las trituradoras secundarias y subsiguientes en circuito cerrado, con el rechazo de cribas.

Cuando no se cumplen estas condiciones y en particular el empleo de una reducción alta para disminuir el número de paso en la trituración, se producen áridos lajosos ósea con partículas alargadas. Así podemos resumir que la producción de agregados de piedra triturada está constituida por la perforación, explotación, carga, transporte, trituración, clasificación, manipuleo y almacenamiento del agregado.

En toda operación de una cantera y planta de trituración, la planificación de los agujeros o barrenos, la cantidad de explosivos, el tamaño de la pala mecánica para cargar la piedra y el tamaño de la trituradora primaria, debe ser coordinado para asegurar que toda la piedra de la cantera pueda pasar por la abertura de la trituradora. Se debe tratar de obtener una capacidad constante en la producción de la trituradora.

## **2.2 Análisis y selección de un tipo de graduación en especial**

El tipo de trituradoras, se clasifican de acuerdo con el tipo de trituración que efectúan, así pueden ser primarias, secundarias, terciarias, etc.

Las trituradoras primarias reciben la piedra directamente de la cantera y produce la primera reducción de tamaño, generalmente son del tipo llamado; “de quijada” (jaw en inglés).

La producción de la trituradora primaria alimenta a la secundaria, la cual reduce las piedras, a un segundo tamaño; las secundarias pueden ser de “rodillos o trompos”. Algunas clases de piedra pueden pasar a través de cuatro o más tamaños de trituradora hasta lograr el tamaño de piedra deseado.

El control de laboratorio es importante para que el material que está produciendo se mantenga entre los tamaños especificados, se deben tomar constantemente muestras ya sea del “chorro” o de la faja del “covair”, realizar las granulometrías y informar inmediatamente al jefe de trituración.

El tomara la decisión de detener la producción en caso de estar defectuosa. Las soluciones que se aplican en cada caso pueden ser:

- **Abrir o cerrar las quijadas de la trituradora primaria.**
- **Calzar con soldadura los rodos o quijadas.**
- **Cambiar los tamices de las zarandas.**

Cada fracción del material pétreo producido puede apilarse y almacenarse en el área de la planta de trituración o ser acarreado para apilarse y almacenarse en lugares estratégicamente elegidos ubicados en el área de la planta de mezclado, llamados acopios de trituración o bancos de materiales.

**Figura 2. Planta de trituración de roca caliza**



Generalmente las plantas de trituración tienen diferentes tamaños de agregado, y se hace así por la necesidad de cada proyecto en específico, pues si se desea tener rocas o gravas por ejemplo para un proyecto de un rompe olas se necesitara encontrar una cantera, y una trituradora que nos permita conseguir rocas de un tamaño relativamente grande.

En cambio en proyectos de infraestructura donde se necesite contar con un tamaño de roca más pequeña como por ejemplo la elaboración de concreto hidráulico para la realización de un puente o la elaboración de concreto asfáltico para una obra de pavimentación de una carretera, se necesitará una planta trituradora que puede triturar el material en varios tamaños desde un tamaño grueso hasta el más fino.

### **3. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO**

#### **3.1 Especificaciones de diseño “Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de Guatemala”, referidas de Asphalt Institute, AASHTO, ASTM**

En la construcción y elaboración de mezclas de concreto asfáltico para pavimentos, siempre se debe seguir un procedimiento anteriormente estudiado y analizado para que todo el diseño tenga una realización sistematizada y ordenada, controlando así todas las partes involucradas en el diseño, y para este propósito existe, un libro comúnmente utilizado en la construcción en Guatemala, este es “Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de Guatemala” comúnmente llamado en el medio libro azul, el cual basa muchas de sus especificaciones y criterios de aprobación de mezclas asfálticas en caliente, del Instituto de Asfalto de los Estados Unidos Americanos, así como también de las normas americanas ASTM y AASHTO. Según las especificaciones se plantea el concepto de concreto asfáltico, como el sistema de construcción asfáltica, que consiste en la elaboración en planta, en caliente de una mezcla de proporciones estrictamente controladas de materiales pétreos, polvo mineral, cemento asfáltico y aditivos, para obtener un producto de alta resistencia y duración, con características de calidad uniforme, que se puede tender y compactar de inmediato en la carretera, en una o en varias capas, de requerido para proporcionar las características de resistencia y textura a las capas de soporte o de superficie, según se establezca en los planos y en las disposiciones generales.

Se debe de especificar el sistema utilizado. Tradicionalmente 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 tradicional o método Marshall. Del instituto de asfalto.

Las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de Guatemala, también reconoce otro método de diseño muy utilizado en los Estados Unidos que es el SUPERPAVE. (Superior Performing Asphalt Pavement), pero en este trabajo se tratará únicamente del método Marshall, para el diseño de mezclas asfálticas, y sus especificaciones.

Este trabajo consiste en la obtención y explotación de canteras y bancos; la trituración de piedra o grava, combinándolas con arena de río y/o polvo mineral de trituración y material de relleno para formar un material clasificado que cumpla con las especificaciones definidas en esta Sección; así como el apilamiento, almacenamiento y acarreo del material a mezclar; el suministro, transporte, almacenamiento, calentamiento y aplicación del material bituminoso; el acarreo, colocación, tendido, conformación y compactación de la mezcla asfáltica; la regulación del tránsito; así como el control de laboratorio durante todas las operaciones necesarias, para construir el concreto asfáltico en una o varias capas, la cual debe tener el ancho, espesores y proporciones indicadas en los planos y en las disposiciones especiales, ajustándose a los alineamientos horizontal y vertical y secciones típicas de pavimentación, dentro de las tolerancias estipuladas, de conformidad con estas especificaciones generales y disposiciones especiales.

En las disposiciones especiales se deberá de indicar el sistema a utilizar para el diseño de las mezclas de concreto asfáltico, ya sea tradicional o Superpave. Cuando no se indique en las disposiciones especiales, se deberá aplicar todas las especificaciones contenidas en esta Sección referentes a mezclas tradicionales (Realizadas por el método Marshall).

## MATERIALES

### REQUISITOS DE LOS MATERIALES.

(a) Agregados para mezclas tradicionales (Marshall).

(1) Agregado Grueso (Retenido en el Tamiz de 4.75 milímetros). El Contratista debe suministrar partículas de roca, piedra o grava trituradas que cumplan con lo siguiente:

a)	Abrasión, AASHTO T 96	35% máximo
b)	Desintegración al sulfato de sodio (5 ciclos), AASHTO T 104	12% máximo
c)	Caras fracturadas:	
	1 cara fracturada	90% mínimo
	2 caras fracturadas	75% mínimo
d)	Partículas planas o alargadas, ASTM D 4791	8% máximo

(2) Agregado fino (100 % Pasa el tamiz de 4.75 milímetros). El Contratista debe suministrar arena, piedra triturada, grava tamizada, o una combinación de éstas que cumpla con los siguientes requisitos:

- a) Equivalente de arena, AASHTO T 176      35 mínimo
- b) Índice Plástico, AASHTO T 90              4% máximo
- c) Graduación N° 2 o N° 3 de AASHTO M 29

(3) Mezcla compuesta de agregados. El Contratista debe dimensionar, graduar, y combinar las fracciones de agregados en proporciones mixtas de acuerdo con lo siguiente:

a) Graduación. Las fracciones de agregado deben ser dimensionadas, graduadas y combinadas en proporciones dosificadas que resulten en una mezcla compuesta con una curva granulométrica continua, sin quiebres bruscos, situada dentro de los límites para el tamaño máximo nominal apropiado del agregado indicado en la figura 3, correspondiente a graduaciones densas. Las graduaciones finas de mezclas asfálticas utilizadas para arena asfalto y lámina asfáltica están especificadas en la sección 410. Cuando en las disposiciones especiales se especifiquen mezclas abiertas para capa de superficie o de base, en las mismas también se debe de indicar el rango admisible para cada tamiz estándar que regirá para la graduación a ser utilizada.

- b) Libre de materia vegetal, basura, terrones de arcilla o substancias que puedan causar fallas en el pavimento.
- c) La mezcla de agregados debe ser uniforme en calidad y densidad y su peso unitario AASHTO T 19 no debe ser menor de 1360 kilogramos por metro cúbico.

- d) La mezcla de agregados o de agregados y polvo mineral debe tener un índice plástico determinado según el método AASHTO T 90, menor del 4%, excepto cuando el polvo mineral esté constituido por cal hidratada o cemento hidráulico.

### Figura 3. Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico

(ASTM D 3515)

Tamaño del tamiz	Porcentaje en masa que pasa el tamiz designado (AASHTO T 27 y T 11)					
	Graduación 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		
19.00 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

- (1) El tamaño máximo nominal es el tamaño del tamiz mayor siguiente al tamaño del primer tamiz que retenga más del 10% del agregado combinado. El tamaño máximo es el del tamiz mayor al correspondiente al tamaño máximo nominal.

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes 2001, sección 401.

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

El polvo mineral debe llenar los requisitos de graduación, determinada según AASHTO T 37, de la siguiente tabla:

**Figura 4. Requisitos de graduación para el polvo mineral**

<b>Estándar mm</b>	<b>Tamiz N°</b>	<b>Porcentaje total que pasa un tamiz de abertura cuadrada (AASHTO T 37)</b>
0.600	30	100 %
0.300	50	95-100 %
0.075	200	70–100 %

**Fuente: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes 2001, sección 401**

(d) 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 401-11, según lo indiquen las disposiciones especiales.

El rango de las temperaturas del cemento asfáltico para la preparación de la mezcla de los especímenes en el laboratorio, será el correspondiente para producir una viscosidad cinemática entre 0.15 y 0.19 Pascales segundo (Pa-s) (150 y 190 CentiStokes cS).

**Figura 5. Especificaciones del cemento asfáltico**

<b>TIPO Y GRADO DEL CEMENTO ASFÁLTICO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
Graduación por viscosidad: <ul style="list-style-type: none"> <li>• AC-10</li> <li>• AC-20</li> <li>• AC-40</li> </ul> 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> 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 M 226  AASHTO M 20  AASHTO MP 1

**Fuente: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes 2001, sección 401**

**Figura 6. Requisitos para la mezcla de concreto asfáltico**

MÉTODO DE DISEÑO <sup>(1)</sup>	VALORES LÍMITES	
1) <b>MARSHALL</b> (AASHTO T 245) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura de compactación de pastilla para producir una viscosidad de</li> <li>• Número de golpes de compactación en cada extremo del espécimen <sup>(2)</sup></li> <li>• Estabilidad</li> <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> <li>• Relación Estabilidad/Fluencia (lb. /0.01 pulg.)</li> <li>• Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada <sup>(3)</sup></li> <li>• Porcentaje de vacíos en agregado mineral (VAM)</li> <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> <li>• Relación finos/bitumen<sup>(4)</sup></li> <li>• Sensibilidad a la humedad AASHTO T 283 Resistencia retenida</li> <li>• Partículas recubiertas con bitumen, para definir tiempo de mezclado, AASHTO T 195</li> </ul>	MINIMO	MAXIMO
	0.25 Pa-s (250 cS)	0.31 Pa-s (310 cS)
	75	75
	5,338 N (1,200 libras)	
	8	16
	8	14
	120	275
	3	5
	FIGURA 7	
		78
	65	75
	65	
	0.6	1.6
	80 %	
	95 %	

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes 2001, sección 401

**Figura 7. Vacíos en el agregado mineral (VAM)**

<b>1.2 Tamaño nominal máximo del agregado en mm</b>	<b>Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VAM)</b>			
	<b>Marshall</b>			<b>Superpave</b>
	<b>3% <sup>(1)</sup></b>	<b>4% <sup>(1)</sup></b>	<b>5% <sup>(1)</sup></b>	<b>4% <sup>(1)</sup></b>
9.50	14	15	16	15
12.50	13	14	15	14
19.00	12	13	14	13
25.00	11	12	13	12
37.50	10	11	12	11
50.00	9.5	10.5	11.5	No aplicable

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes 2001, sección 401

**Figura 8. Cantidad de cemento asfáltico (ASTM D 3515)**

<b>*Graduación designada y tamaño máximo nominal</b>					
<b>A (50.8 mm)</b>	<b>B (38.1 mm)</b>	<b>C (25.4 mm)</b>	<b>D (19 mm)</b>	<b>E (12.5 mm)</b>	<b>F (9.5 mm)</b>
2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
2-7	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes 2001, sección 401

\*La cantidad de cemento asfáltico está dada en términos del porcentaje de peso de la mezcla total. La amplia diferencia en el valor de gravedad específica de la variedad de agregados, así como la gran diferencia en el porcentaje de absorción para los agregados, da como resultado un rango amplio para la cantidad de cemento asfáltico especificado. La cantidad de cemento asfáltico requerido para una mezcla dada debe ser determinada ejecutando los ensayos de laboratorio apropiados.

El procedimiento debe determinar la localización de las plantas de producción de agregados y concreto asfáltico, el tipo y grado del material bituminoso a utilizar de conformidad con las Disposiciones Especiales, la forma de su almacenamiento y calentamiento, la producción y preparación del material pétreo en sus diferentes tamaños, incluyendo el material de relleno, las características de la planta de mezcla, ya sea fija o móvil, los resultados de los ensayos de laboratorio y la fórmula de trabajo, dentro de las tolerancias que se establecen en 401.18, así como los rangos de las temperaturas de mezcla y compactación acordes al tipo y grado del material bituminoso a usar, para obtener una mezcla que llene los requisitos de estas especificaciones generales, disposiciones especiales y planos correspondientes.

La fórmula de trabajo deberá incluir la graduación de la mezcla, las proporciones que se usarán de los agregados de diferente tamaño y material de relleno, el contenido de cemento asfáltico y aditivos antidesvestimiento, si así se requiriere, el tiempo de mezclado establecido de conformidad con AASHTO T 195, el porcentaje de absorción de agua de los agregados y el porcentaje de absorción de cemento asfáltico de la mezcla, la relación entre estos dos últimos valores y los resultados de los ensayos de la mezcla según el método de diseño definido en las disposiciones especiales y conforme lo indicado.

La aprobación del procedimiento de construcción, incluyendo maquinaria y equipo a utilizar no exime al contratista de su responsabilidad de colocar una capa de concreto asfáltico, que se ajuste a estas especificaciones generales, disposiciones especiales y planos correspondientes.

**(a) Control de calidad de los materiales**

(1) Abrasión. En cada banco se debe efectuar tres ensayos del material en su estado original. Durante la producción se debe efectuar un ensayo por cada 2,000 metros cúbicos de material triturado hasta alcanzar los 10,000 metros cúbicos y seguidamente uno cada 10,000 metros cúbicos o cuando cambien las características del banco.

(2) Caras fracturadas, partículas planas y alargadas del agregado grueso. Se debe efectuar un ensayo cada 100 metros cúbicos de los primeros 1,000 metros cúbicos producidos de cada banco y seguidamente uno por cada 5,000 metros cúbicos.

(4) Granulometría de los agregados. Se debe efectuar un ensayo AASHTO T 11, T 27 y T 37 por cada 200 metros cúbicos de los primeros 1,000 metros cúbicos producidos, y seguidamente un ensayo cada 400 metros cúbicos.

(5) Plasticidad y equivalente de arena. Se debe efectuar un ensayo cada 2,000 metros cúbicos de agregado producido.

(6) Cemento Asfáltico. El Contratista deberá proporcionar los certificados de calidad extendidos por el proveedor en donde se hagan constar las características del material bituminoso correspondientes al grado especificado proveído por lote de producción o embarque según sea aplicable, sin menoscabo de las verificaciones periódicas que ordene el Delegado Residente efectuando las operaciones de muestreo de conformidad con AASHTO T 40. Dichas verificaciones podrán efectuarse bimensualmente.

(7) Mezcla Asfáltica. El contratista debe efectuar ensayos completos de las características volumétricas de la mezcla, ensayo de la granulometría de la mezcla AASHTO T 30 y ensayos de estabilidad Marshall cuando éste sea el método de diseño utilizado, para determinar si llena los requisitos de 401.03 (e), incluyendo porcentaje de asfalto, por cada 500 toneladas de mezcla producida. Se deben extraer núcleos de la mezcla ya compactada para efectuar las mismas pruebas. La condición anterior no excluye los controles de temperatura, proporciones de agregados mezclados y contenido de asfalto que se deberán verificar en forma continua en los indicadores de los dispositivos de control de la planta de producción del concreto asfáltico, según el diseño del mismo.

(8) Temperatura. El contratista debe verificar las lecturas de temperatura en la planta. Debe verificar, tomando tres lecturas por medio de un termómetro de penetración, la temperatura de la mezcla en cada camión en el punto de colocación. Finalmente, debe verificar que la temperatura de compactación esté dentro del rango especificado.

**Figura 9. Tolerancia de variación de materiales**

Requisitos de la fórmula de trabajo	Tolerancia en más o en menos
▪ Agregado retenido en Tamiz N°4 (4.750 mm)	➤ 4 % en peso del material pétreo
▪ Agregado retenido en Tamiz N°8 (2.360 mm)	➤ 3 % en peso del material pétreo
▪ Agregado retenido en Tamiz N°30 (0.600 mm)	➤ 2 % en peso del material pétreo
▪ Agregado que pasa el Tamiz N°200 (0.075 mm)	➤ 1 % en peso del material pétreo
▪ Contenido de cemento asfáltico	➤ 0.3 % en peso de la mezcla total
▪ Temperatura para mezclar, tender y compactar	➤ 5° Centígrados

**Fuente: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes 2001, sección 401**

### **3.2 Realización de ensayos de laboratorio al material pétreo como parámetros de diseño (características de los agregados), estudio de laboratorio al material calizo y basáltico**

Los ensayos que se tienen que realizar al material del cual está compuesta la mezcla de concreto asfáltico, se pueden dividir básicamente en dos los cuales serían, los ensayos que se le realizan al material pétreo y los ensayos que se le realizan al asfalto (AC), los cuales serían:

#### **Material pétreo:**

- A. Granulometría de material grueso
- B. Granulometría de material fino
- C. Abrasión en máquina de los Ángeles
- D. Desintegración al sulfato de sodio
- E. Caras fracturadas
- F. Partículas planas y alargadas
- G. Gravedad específica de material grueso
- H. Gravedad específica de material intermedio
- I. Gravedad específica de material fino
- J. Peso unitario de mezcla de agregados
- K. Equivalente de arena

**Asfalto:**

- A. Gravedad específica a 60°F
- B. Peso
- C. Penetración
- D. Viscosidad 140 °F, poises
- E. Viscosidad 275 °F cST
- F. Flash Point, COC, °F
- G. Punto de ablandamiento, °F
- H. Solubilidad en TCE %

**3.2.1. Granulometría de material grueso (AASHTO T-27, T-11)**

En cuestión de diseño de asfalto, al igual que en muchos ensayos más, la granulometría individual del material grueso es de gran importancia, ya que podemos observar cómo se distribuye el tamaño del material en toda la muestra y esto nos ayuda para poder realizar la integración de materiales con el propósito de graduar nuestros materiales conforme algún tipo de graduación referida en las especificaciones.

Ahora bien, hay que recordar que en diseño de mezclas de concreto asfáltico, podemos hablar de material grueso y fino, pero se hace la aclaración, que el material grueso la mayoría de las veces se separa en dos tamaños.

Gruesos de tamaño grande y gruesos de tamaño más pequeño, llamándolos comúnmente gruesos e intermedios, que luego con el material fino, que generalmente suele ser el polvo de trituración, o el común  $\frac{1}{4}$  a 0, vienen constituyendo los agregados pétreos, en GRUESOS ,INTERMEDIOS Y FINOS.

En la realización del presente trabajo, se trabajo con Agregado calizo, de conformidad con las siguientes medidas:

GRUESOS “material calizo de  $\frac{3}{4}$  a  $\frac{3}{8}$ ”

INTERMEDIOS “material calizo de  $\frac{3}{8}$  a  $\frac{1}{4}$ ”

FINOS “material calizo de  $\frac{1}{4}$  a 0”

Se trabajo también con agregado basáltico, de conformidad con las siguientes medidas:

GRUESOS “material basalto de  $\frac{3}{4}$  a  $\frac{3}{8}$ ”

INTERMEDIOS “material basalto de  $\frac{3}{8}$  a  $\frac{1}{4}$ ”

FINOS “material basalto de  $\frac{1}{4}$  a 0”

Se trabajo los diseños de mezcla asfáltica del material calizo y basalto, con el mismo tamaño nominal de gruesos, intermedios y finos con el propósito de realizar mezclas de la misma graduación, y así poder observar mejor el comportamiento de las mismas.

### **Procedimiento de ensayo de granulometría de $\frac{3}{4}$ a $\frac{3}{8}$**

- A. Se muestrea el material de la banda transportadora de la trituradora, esto con el fin de tomar una muestra representativa del material, tomar como mínimo un costal (35 kilos) de material.
- B. Una vez con el material en el laboratorio, se procede a cuartear el material, si bien se posee un partidador de muestras, si no se describe el siguiente proceso.
- C. En una superficie limpia, vacié el material seco y mezcle un par de veces con una pala. Nivele la muestra usando una tabla o cuarteadora.
- D. Proceda a dividir la muestra en dos partes iguales.
- E. Luego repita el paso D para dividir la muestra en cuatro partes iguales, devuelva dos partes que sean opuestas en diagonal al costal, y vuelva a mezclar las dos muestras, una vez mezcladas, vuelva a dividir la muestra en cuatro partes.
- F. Utilice dos partes opuestas diagonalmente para la granulometría, la muestra neta de material debe de pesar entre 2000 grs. Y 3000 grs.
- G. Coloque en una palangana debidamente tarada el material seco y apunte su peso bruto, luego con solo restar la tara del peso bruto, se tendrá el peso neto.
- H. Después la muestra es lavada a fondo por el tamiz No 200 con el propósito de remover el polvo y el material limo-arcilloso, después de haber sido lavadas se colocan en el horno a temperatura constante de 110 °C durante 24 horas.

- I. Una vez la muestra este seca y fría, se procede a tamizar por la batería de tamices, usada en asfaltos, para granulometrías individuales, la batería está conformada por los tamices: 1" ¾", 1/2", 3/8", No4, No8, No16, No30, No50, No100, No200.
- J. Luego de ser tamizada, se pesa el material retenido en cada tamiz, ya sea que se haga de forma individual o acumulada, se recomienda que se haga de forma acumulada para que se utilice el peso apuntado en el inciso G.
- K. Se procede a realizar los cálculos.

Ejemplo de cálculos (para muestra de agregado grueso, granulometría)

Datos:

Peso total neto de la muestra = 3820 gr

Peso bruto retenido el tamiz 3/8 = 3860 gr

Tara = 330 gr

$$PN = 3860 - 330 = 3530$$

$$\% RET = \frac{3530}{3820} \cdot 100 = 92.4$$

$$\% PASA = 100 - 92.4 = 7.6$$

De la misma manera se realizan los cálculos para los demás tamices de la granulometría. En las gráficas que se presentan a continuación la casilla que lleva la abreviación PNR, corresponde a Peso Neto Retenido.

Figura 10. Resultado de granulometría de material calizo de ¾ a 3/8

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
**INCIDENCIA DEL ORIGEN DE LOS MATERIALES CALIZOS**  
**PROYECTO Y BASÁLTICOS**  
**EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO**  
**MÉTODO MARSHALL**

<b>OBSERVACIONES:</b>		material de trituración, tamaño máximo 1"			
		material de origen calizo, procedente de Agregua planta zona 6			
<b>SIN LAVAR</b>		<b>LAVADA</b>	<b>O.K</b>		
<b>P.B</b>		<b>P.B</b>	<b>4150</b>		
<b>TARA</b>		<b>TARA</b>	<b>330</b>		
<b>P.N</b>		<b>P.N</b>	<b>3820</b>		
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA(mm)</b>	<b>P.N.R</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>%PASA</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
<b>2</b>	<b>50</b>	0	0.0	100.0	-----
<b>1 1/2</b>	<b>37.5</b>	0	0.0	100.0	-----
<b>1</b>	<b>25</b>	0	0.0	100.0	-----
<b>3/4</b>	<b>19</b>	430	11.3	88.7	-----
<b>1/2</b>	<b>12.5</b>	2320	60.7	39.3	-----
<b>3/8</b>	<b>9.5</b>	3530	92.4	7.6	-----
<b>No. 4</b>	<b>4.75</b>	3740	97.9	2.1	-----
<b>No. 8</b>	<b>2.36</b>	3770	98.7	1.3	-----
<b>No. 16</b>	<b>1.18</b>	3780	99.0	1.0	-----
<b>No. 30</b>	<b>0.6</b>	3780	99.0	1.0	-----
<b>No. 50</b>	<b>0.3</b>	3780	99.0	1.0	-----
<b>No. 100</b>	<b>0.15</b>	3790	99.2	0.8	-----
<b>No. 200</b>	<b>0.075</b>	3790	99.2	0.8	-----

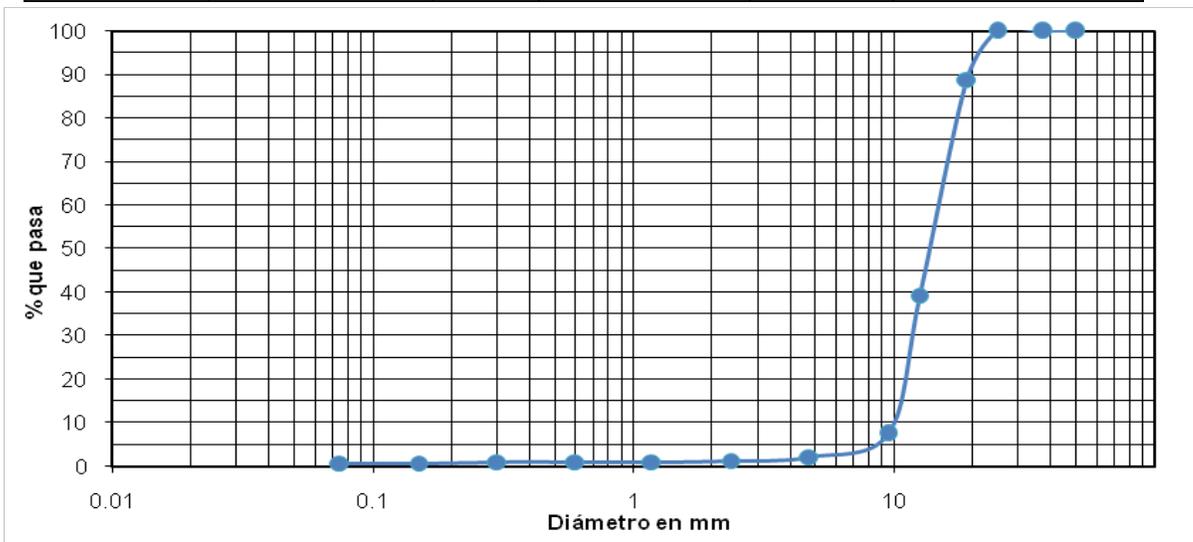


Figura 11. Resultado de granulometría de material basáltico de 3/4 a 3/8

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INCIDENCIA DEL ORIGEN DE LOS MATERIALES CALIZOS Y  
 PROYECO BASÁLTICOS  
 EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO MÉTODO  
 MARSHALL

<b>OBSERVACIONES:</b>		material de trituración, tamaño máximo 1"			
material de origen basáltico, procedente de Agregua planta Palín Oeste					
<b>SIN LAVAR</b>		<b>LAVADA</b>	<b>O.K</b>		
<b>P.B</b>		<b>P.B</b>	<b>2720</b>		
<b>TARA</b>		<b>TARA</b>	<b>310</b>		
<b>P.N</b>		<b>P.N</b>	<b>2410</b>		
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA(mm)</b>	<b>P.N.R</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>%PASA</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
<b>2</b>	<b>50</b>	0	0	100	
<b>1 1/2</b>	<b>37.5</b>	0	0	100	
<b>1</b>	<b>25</b>	0	0	100	
<b>3/4</b>	<b>19</b>	340	14.1	85.9	-----
<b>1/2</b>	<b>12.5</b>	1620	67.2	32.8	-----
<b>3/8</b>	<b>9.5</b>	2320	96.3	3.7	-----
<b>No. 4</b>	<b>4.75</b>	2380	98.8	1.2	-----
<b>No. 8</b>	<b>2.36</b>	2380	98.8	1.2	-----
<b>No. 16</b>	<b>1.18</b>	2380	98.8	1.2	-----
<b>No. 30</b>	<b>0.6</b>	2385	99.0	1.0	-----
<b>No. 50</b>	<b>0.3</b>	2385	99.0	1.0	-----
<b>No. 100</b>	<b>0.15</b>	2385	99.0	1.0	-----
<b>No. 200</b>	<b>0.075</b>	2390	99.2	0.8	-----

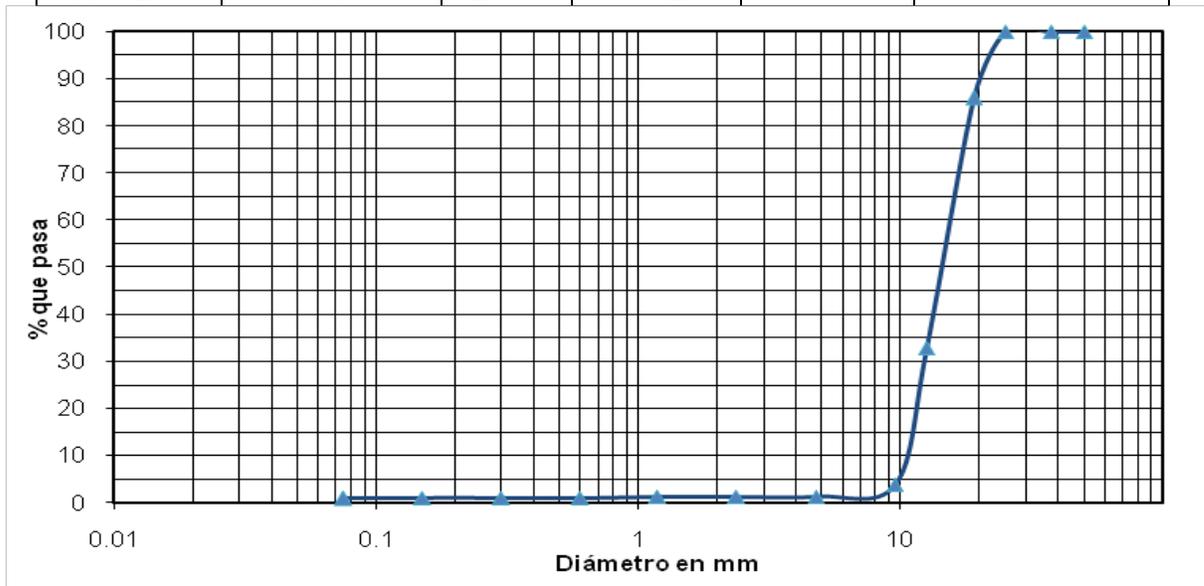


Figura 12. Resultado de granulometría de material calizo de 3/8 a 1/4

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INCIDENCIA DEL ORIGEN DE LOS MATERIALES CALIZOS Y  
 PROYECO BASÁLTICOS  
 EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO MÉTODO  
 MARSHALL

<b>OBSERVACIONES:</b>		material de trituración, tamaño máximo 1/2"	
		material de origen calizo, procedente de Agregua planta zona 6	
<b>SIN LAVAR</b>		<b>LAVADA</b>	<b>O.K</b>
<b>P.B</b>		<b>P.B</b>	<b>3080</b>
<b>TARA</b>		<b>TARA</b>	<b>230</b>
<b>P.N</b>		<b>P.N</b>	<b>2850</b>

TAMIZ	ABERTURA(mm)	P.N.R	% RETENIDO	%PASA	ESPECIFICACIONES
2	50	0	0.0	100.0	-----
1 1/2	37.5	0	0.0	100.0	-----
1	25	0	0.0	100.0	-----
3/4	19	0	0.0	100.0	-----
1/2	12.5	0	0.0	100.0	-----
3/8	9.5	300	10.5	89.5	-----
No. 4	4.75	2480	87.0	13.0	-----
No. 8	2.36	2830	99.3	0.7	-----
No. 16	1.18	2840	99.6	0.4	-----
No. 30	0.6	2840	99.6	0.4	-----

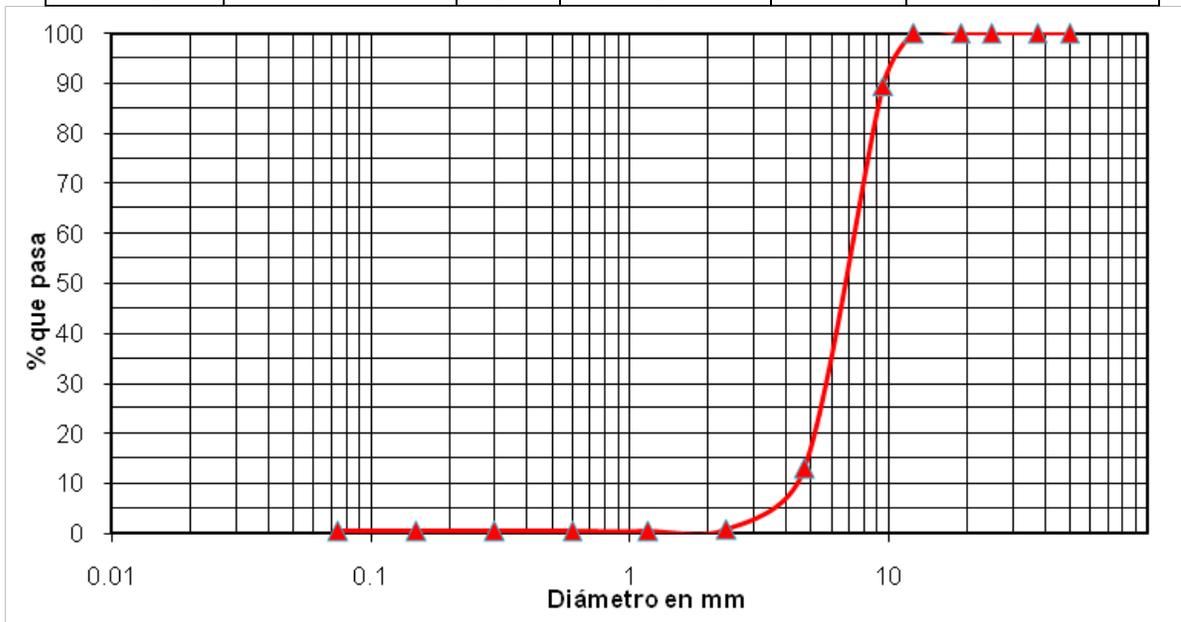


Figura 13. Resultado granulometría de material basáltico de 3/8 a 1/4

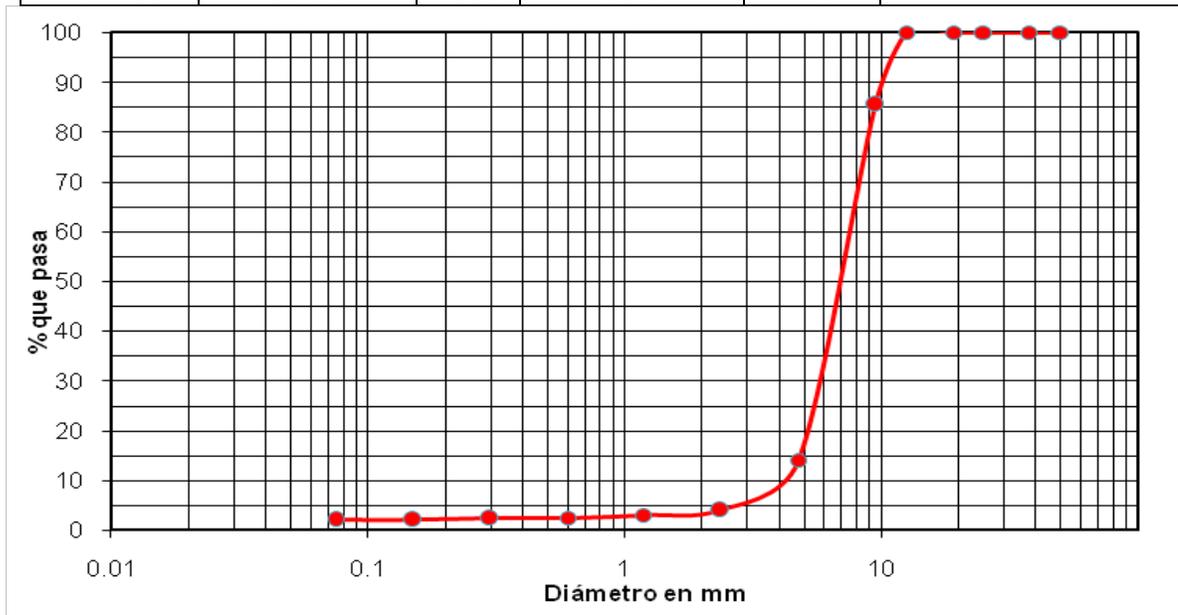
### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PROYECO INCIDENCIA DEL ORIGEN DE LOS MATERIALES CALIZOS Y BASÁLTICOS  
EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO MÉTODO  
MARSHALL

<b>OBSERVACIONES:</b>		material de trituración, tamaño máximo 1/2"			
		material de origen basáltico, procedente de Agregua planta Palín Oeste			
<b>SIN LAVAR</b>		<b>LAVADA</b>			
<b>P.B</b>		<b>P.B</b>		<b>2330</b>	
<b>TARA</b>		<b>TARA</b>		<b>330</b>	
<b>P.N</b>		<b>P.N</b>		<b>2000</b>	

TAMIZ	ABERTURA(mm)	P.N.R	% RETENIDO	%PASA	ESPECIFICACIONES
2	50	0	0.0	100.0	-----
1 1/2	37.5	0	0.0	100.0	-----
1	25	0	0.0	100.0	-----
3/4	19	0	0.0	100.0	-----
1/2	12.5	0	0.0	100.0	-----
3/8	9.5	290	14.5	85.5	-----
No. 4	4.75	1720	86.0	14.0	-----
No. 8	2.36	1920	96.0	4.0	-----
No. 16	1.18	1940	97.0	3.0	-----
No. 30	0.6	1950	97.5	2.5	-----
No. 50	0.3	1955	97.8	2.3	-----
No. 100	0.15	1960	98.0	2.0	-----
No. 200	0.075	1960	98.0	2.0	-----



### **3.2.2 Granulometría de material fino (AASHTO T-27, T-11)**

La granulometría de material fino, en los diseños de concreto asfáltico es de suma importancia, ya que nos permite ver qué cantidad de cada tamaño de partícula hay en la muestra total, una vez calculadas las granulometrías de material grueso, intermedio y fino podemos comenzar a integrar porcentajes de cada material con el propósito de que nos queden dentro de las especificaciones del instituto de asfalto.

Cuando se trata de combinar agregados para concreto asfáltico, se debe de tener mucho criterio, ya que recordemos que podemos combinar desde 2 hasta 4 tipos diferentes de agregados, no necesariamente 3, aunque la combinación de 3 tamaños de agregados, resulta en combinaciones apropiadas, que generalmente se pueden integrar para dar curvas continuas y sin muchos cambios en su granulometría.

Para los diseños de concreto asfáltico hecho de material calizo y basáltico, utilizaremos agregado fino de tamaño  $\frac{1}{4}$  a 0, para los dos diseños. Los procesos de cálculo de una granulometría de material fino para concreto asfáltico, son los mismos que los de una granulometría de material grueso, ya que a cada tamaño de material se le pone la misma batería de tamices.

Figura 14. Resultado de granulometría de finos, de material de origen calizo de ¼ a 0

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PROYECO INCIDENCIA DEL ORIGEN DE LOS MATERIALES CALIZOS Y BASÁLTICOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO MÉTODO MARSHALL

<b>OBSERVACIONES:</b>		material de trituración, tamaño máximo 1/4"			
material de origen calizo, procedente de Agregua planta zona 6					
<b>SIN LAVAR</b>		<b>LAVADA</b>	<b>O.K</b>		
<b>P.B</b>		<b>P.B</b>	<b>2470</b>		
<b>TARA</b>		<b>TARA</b>	<b>300</b>		
<b>P.N</b>		<b>P.N</b>	<b>2170</b>		
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA(mm)</b>	<b>P.N.R</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>%PASA</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
2	50	0	0.0	100.0	-----
1 1/2	37.5	0	0.0	100.0	-----
1	25	0	0.0	100.0	-----
3/4	19	0	0.0	100.0	-----
1/2	12.5	0	0.0	100.0	-----
3/8	9.5	0	0.0	100.0	-----
No. 4	4.75	40	1.8	98.2	-----
No. 8	2.36	580	26.7	73.3	-----
No. 16	1.18	1040	47.9	52.1	-----
No. 30	0.6	1380	63.6	36.4	-----
No. 50	0.3	1610	74.2	25.8	-----
No. 100	0.15	1770	81.6	18.4	-----
No. 200	0.075	1880	86.6	13.4	-----

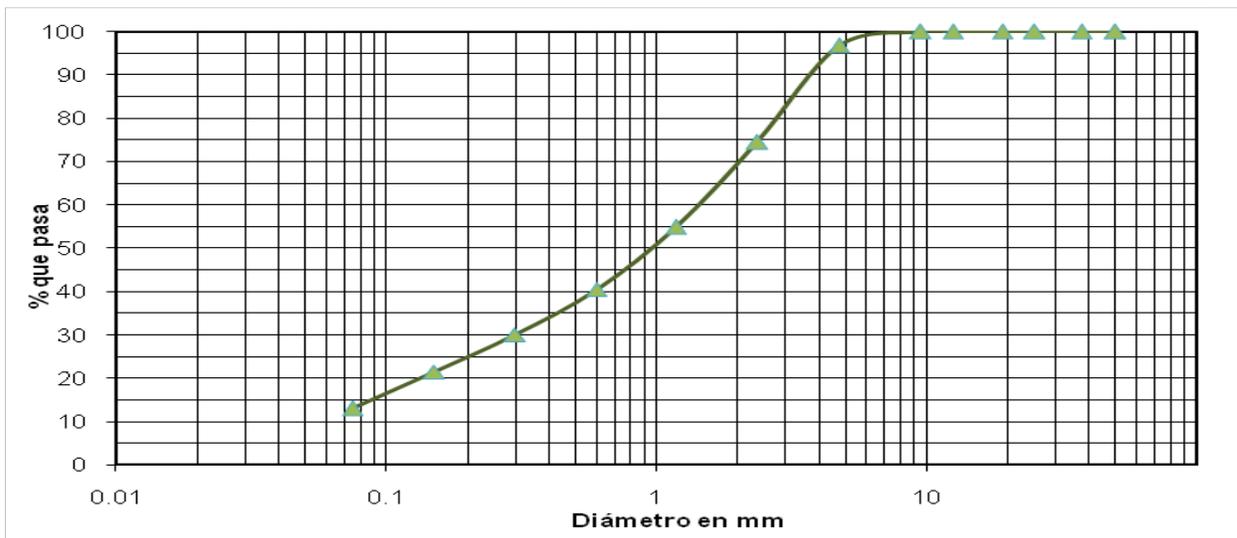


Figura 15. Resultado de granulometría de finos, de material de origen basáltico de ¼ a 0

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INCIDENCIA DEL ORIGEN DE LOS MATERIALES CALIZOS Y  
**PROYECTO BASÁLTICOS**  
 EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO MÉTODO  
 MARSHALL

<b>OBSERVACIONES:</b>		material de trituración, tamaño máximo 1/4"			
material de origen basáltico, procedente de Agregua planta Palín Oeste					
<b>SIN LAVAR</b>		<b>LAVADA</b>	<b>OK</b>		
<b>P.B</b>		<b>P.B</b>	<b>1840</b>		
<b>TARA</b>		<b>TARA</b>	<b>310</b>		
<b>P.N</b>		<b>P.N</b>	<b>1530</b>		
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA(mm)</b>	<b>P.N.R</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>%PASA</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
2	50	0	0.0	100.0	-----
1 1/2	37.5	0	0.0	100.0	-----
1	25	0	0.0	100.0	-----
3/4	19	0	0.0	100.0	-----
1/2	12.5	0	0.0	100.0	-----
3/8	9.5	0	0.0	100.0	-----
No. 4	4.75	50	3.3	96.7	-----
No. 8	2.36	390	25.5	74.5	-----
No. 16	1.18	690	45.1	54.9	-----
No. 30	0.6	910	59.5	40.5	-----
No. 50	0.3	1070	69.9	30.1	-----
No. 100	0.15	1200	78.4	21.6	-----
No. 200	0.075	1330	86.9	13.1	-----



### 3.2.3 Abrasión en máquina de los Ángeles (AASHTO T-96, ASTM C131)

El ensayo de los ángeles, se realiza en la máquina de los ángeles, la máquina consiste en un tambor cilíndrico montado longitudinalmente sobre un eje horizontal y que tiene un saliente de un ancho de 10 cm, que se extiende de extremo a extremo en el interior, se carga el tambor con 5 kilogramos de agregado y da quinientas revoluciones. Una resistencia al desgaste relativamente elevada es una característica muy conveniente de piedra triturada que haya de usarse en construcciones asfálticas, siendo muy esencial para ciertos tipos de construcción, particularmente en capas superiores.

**Figura 16. Graduación y especificaciones para el ensayo de abrasión**

tamaño del tamiz		peso del tamaño indicado, gr			
abertura cuadrada		GRADUACIÓN			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250			
1"	3/4"	1250			
3/4"	1/2"	1250	2500		
1/2"	3/8"	1250	2500		
3/8"	1/4"			2500	
1/4"	No 4			2500	
No 4	No 8				5000

Gradación	Número de esferas	Peso de carga
A	12	5000
B	11	4584
C	8	3330
D	6	2500
<b>EL peso de carga tiene un margen de error de más menos 25 gr</b>		

Fuente: Normas AASHTO y ASTM.

**Tabla II. Resultados de ensayo de abrasión material de origen calizo**

<b>Ciclos</b>	<b>500</b>	<b>TIPO B</b>
<b>Peso inicial</b>	<b>A</b>	<b>5000</b>
<b>Peso retenido sobre el tamiz No12 de</b>	<b>B</b>	<b>3705</b>
<b>% en peso que pasa el tamiz No 12</b>	<b><math>((A-B)/A)*100</math></b>	<b>25.9</b>

<b>Ciclos</b>	<b>500</b>	<b>TIPO C</b>
<b>Peso inicial</b>	<b>A</b>	<b>5000</b>
<b>peso retenido sobre el tamiz No12, de</b>	<b>B</b>	<b>3785</b>
<b>% en peso que pasa el tamiz No 12</b>	<b><math>((A-B)/A)*100</math></b>	<b>24.3</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

**Tabla III. Resultados de ensayo de abrasión material de origen basáltico**

<b>Ciclos</b>	<b>500</b>	<b>TIPO B</b>
<b>Peso inicial</b>	<b>A</b>	<b>5000</b>
<b>Peso retenido sobre el tamiz No12, de</b>	<b>B</b>	<b>4100</b>
<b>% en peso que pasa el tamiz No 12</b>	<b><math>((A-B)/A)*100</math></b>	<b>18.0</b>

<b>Ciclos</b>	<b>500</b>	<b>TIPO C</b>
<b>Peso inicial</b>	<b>A</b>	<b>5000</b>
<b>peso retenido sobre el tamiz No12, de</b>	<b>B</b>	<b>3860</b>
<b>% en peso que pasa el tamiz No 12</b>	<b><math>((A-B)/A)*100</math></b>	<b>22.8</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

### 3.2.4 Desintegración al sulfato de sodio (AASHTO T-104, ASTM C88)

Este ensayo también realizado como característica de los agregados, consiste en la realización de capsulas resultantes de la combinación de determinados tamaños de agregado, que se someten a un proceso, con el único fin de averiguar que tanto se desgasta el material en cuestión, en una solución de sulfato de sodio.

El ensayo de sulfato de sodio también es llamado soundness, de bondad o de intemperismo acelerado, ya que el resultado simula el desgaste que tendría el agregado, al estar a la intemperie por un largo tiempo.

**Figura 17. Graduación y cálculo del ensayo de sulfato de sodio (ASTM C-88)**

abertura cuadrada		GRADUACIÓN				
Pasa	Retenido	graduación por fracción	antes de ensayo	después de ensayo	% de desgaste	desgaste referido a graduación
1 1/2"	1"	% granulometría	1500			
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	% granulometría	1000			
1/2"	3/8"					
3/8"	1/4"	% granulometría	300			
1/4"	No 4					
	fondo	% granulometría				
<b>totales</b>		<b>100 %</b>	<b>2800</b>			<b>% desgaste</b>

Fuente: Normas AASHTO y ASTM.

**Tabla IV. Resultado de ensayo desintegración al sulfato de sodio de material de origen calizo**

abertura cuadrada		GRADUACIÓN				
Pasa	Retenido	graduación por fracción	antes de ensayo	después de ensayo	% de desgaste	desgaste referido a graduación
1 1/2"	1"	%11.30 granulometría	1500	1420.60	5.29	0.60
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	%81.10 granulometría	1000	938.30	6.17	5.00
1/2"	3/8"					
3/8"	1/4"	% 5.50 granulometría	300	282.10	5.97	0.33
1/4"	No 4					
	fondo	%2.10 granulometría				
<b>totales</b>		<b>100 %</b>	<b>2800</b>			<b>6.0% desgaste</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

**Tabla V. Resultado de ensayo desintegración al sulfato de sodio de material de origen basáltico**

abertura cuadrada		GRADUACIÓN				
Pasa	Retenido	graduación por fracción	antes de ensayo	después de ensayo	% de desgaste	desgaste referido a graduación
1 1/2"	1"	% 14.10 granulometría	1500	1494.5	0.37	0.05
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	%82.00 granulometría	1000	994.5	0.55	0.45
1/2"	3/8"					
3/8"	1/4"	% 2.50 granulometría	300	299.5	0.17	0.0
1/4"	No 4					
	fondo	%1.40 granulometría				0.0
<b>totales</b>		<b>100 %</b>	<b>2800</b>			<b>0.51% desgaste</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

### 3.2.5 Caras fracturadas

Este ensayo sirve para ver qué cantidad de partículas de los agregados, tienen caras fracturadas, o que su procedencia es de una trituradora ya que si la forma de su partícula no es angulosa quiere decir que probablemente es de canto rodado, y en el caso de el concreto asfáltico se prefiere mejor que no sea de canto rodado ya que no proporciona la suficiente adherencia entre sus partículas. En este caso el material calizo y basáltico son producto de trituración y el **100%** de ambos presenta más de dos caras fracturadas.

### 3.2.6 Partículas planas y alargadas (ASTM D- 4791)

Este ensayo se realiza con la finalidad de saber qué porcentaje de la muestra total presenta partículas planas y alargadas ya que si la muestra pasa de más de un ocho por ciento, será preferible, revisar la producción ya que no es recomendable que el agregado presente muchas partículas planas o alargadas porque no hay adherencia entre las partículas y tienden a moverse unas entre otras con la presión ejercida.

**Tabla VI. Resultado de ensayo de partículas planas y alargadas del material calizo y basáltico**

<b>Descripción</b>	<b>Calizo</b>	<b>basalto</b>
<b>% partículas planas</b>	<b>3.9</b>	<b>0.9</b>
<b>% partículas alargadas</b>	<b>0.0</b>	<b>4.3</b>
<b>% ni planas ni alargadas</b>	<b>96.1</b>	<b>94.8</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

### **3.2.7 Gravedad específica de gruesos (pasa 1” retenido No. 4) (AASHTO T-85, ASTM C127)**

El peso específico o gravedad específica de una sustancia o material es la proporción peso volumen de una unidad de esa sustancia comparada con la proporción peso-volumen, de una unidad de agua. El peso específico de una muestra de agregado es determinado al comparar el peso de un volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura. El peso específico del agregado se expresa en múltiplos del peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1), por ejemplo, una muestra de agregado que pese dos y media veces más que un volumen igual de agua tiene un peso específico de 2.5. El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones de agregado, asfalto y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño. El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la muestra por la densidad del agua  $1000 \text{ kg/m}^3$  o  $62.4 \text{ lb/ft}^3$ .

Para la realización del ensayo de gravedad específica, necesitamos conocer los tres tipos de gravedades, que existen en los agregados para el diseño de mezclas, estas son:

- Gravedad específica total o bruta ( $G_{sb}$ ), ( Bulk s)
- Gravedad específica efectiva ( $G_{se}$ ), (Bulk sss)
- Gravedad específica aparente ( $G_{sa}$ )

Gravedad específica total o bruta (Gsb)

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

Gravedad específica efectiva (Gse)

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

Gravedad específica aparente (Gsa)

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

% absorción

$$\% \text{ absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

DONDE:

A = peso del agregado grueso seco, al aire (horno)

B = peso del agregado seco saturado, al aire

C= peso del agregado en el agua (sumergido)

**Tabla VII. Resultado de gravedades específicas del agregado grueso de origen calizo**

ITEM	PESO EN gr.			
	1	2	3	promedio
<b>Descripción</b>				
<b>Peso seco al aire (A)</b>	855.5	820.6	711.5	
<b>Peso SSS al aire (B)</b>	864.1	824.7	716.4	
<b>Peso sumergido (C)</b>	542.4	515.3	447.7	
<b>Gsb 21°C</b>	2.659	2.650	2.648	<b>2.652</b>
<b>Gse 21°C</b>	2.687	2.665	2.666	<b>2.673</b>
<b>Gsa 21°C</b>	2.693	2.688	2.697	<b>2.693</b>
<b>Absorción</b>	1.0	0.6	0.7	<b>0.8</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

**Tabla VIII. Resultado de gravedades específicas del agregado grueso de origen basáltico**

ITEM	PESO EN gr.			
	1	2	3	promedio
<b>Descripción</b>				
<b>Peso seco al aire (A)</b>	568.3	671.8	665.8	
<b>Peso SSS al aire (B)</b>	572.6	677.7	672.0	
<b>Peso sumergido (C)</b>	358.5	423.4	418.8	
<b>Gsb 21°C</b>	2.654	2.642	2.630	<b>2.642</b>
<b>Gse 21°C</b>	2.674	2.665	2.654	<b>2.664</b>
<b>Gsa 21°C</b>	2.709	2.705	2.696	<b>2.703</b>
<b>Absorción</b>	0.8	0.9	0.9	<b>0.9</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

### 3.2.8 Gravedad específica de intermedios

(pasa No.4 retenido No.40) (AASHTO T-84, ASTM C128)

Para la realización de gravedades específicas de agregado intermedio, cambia el procedimiento de ensayo, ya que ahora realizamos las gravedades con la ayuda de un matraz de 500 ml, las ecuaciones básicas serían:

Gravedad específica total o bruta (Gsb)

$$Gsb = \frac{A}{B + S - C}$$

Gravedad específica efectiva (Gse)

$$Gse = \frac{S}{B + S - C}$$

Gravedad específica aparente (Gsa)

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

%absorción

$$\% \text{ absorción} = \frac{S - A}{A} * 100$$

Donde:

A = peso del agregado seco, al aire (horno)

B = peso del matraz (500ml) + agua

S = peso del agregado seco saturado (sss)

C = peso matraz (500 ml) + agua + peso del agregado en condición seco saturada

**Tabla IX. Resultado de gravedades específicas del agregado intermedio de origen calizo**

ITEM	PESO EN gr.			
	1	2	3	promedio
<b>Peso seco al aire (A)</b>	323.7	339.1	346.8	
<b>Peso matraz+agua (B)</b>	846.4	846.4	846.4	
<b>Peso SSS al aire (S)</b>	330.8	346.4	346.4	
<b>Peso sumergido (C)</b>	1050.7	1060.3	1060.3	
<b>Gsb 21°C</b>	2.559	2.559	2.556	<b>2.558</b>
<b>Gse 21°C</b>	2.615	2.614	2.616	<b>2.615</b>
<b>Gsa 21°C</b>	2.711	2.708	2.720	<b>2.713</b>
<b>Absorción</b>	2.2	2.2	2.3	<b>2.23</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

**Tabla X. Resultado de gravedades específicas del agregado intermedio de origen basáltico**

ITEM	PESO EN gr.			
	1	2	3	promedio
<b>Peso seco al aire (A)</b>	109.5	109.3	108.8	
<b>Peso matraz +agua (B)</b>	671.2	670.8	678.2	
<b>Peso SSS al aire (S)</b>	110.7	110.3	110.3	
<b>Peso sumergido (C)</b>	740.6	740.0	747.1	
<b>Gsb 21°C</b>	2.651	2.659	2.628	<b>2.646</b>
<b>Gse 21°C</b>	2.680	2.684	2.664	<b>2.676</b>
<b>Gsa 21°C</b>	2.731	2.726	2.727	<b>2.728</b>
<b>Absorción</b>	1.0	0.9	1.4	<b>1.1</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

### **3.2.9 Gravedad específica de finos (pasa No.40 hasta fondo) (AASHTO T100, ASTM D854)**

Para el caso de la gravedad específica de finos, podemos usar el procedimiento que si estuviéramos encontrando una gravedad específica de intermedios, solo que sería la gravedad específica aparente, ya que el agregado fino estará en condición seca.

Gravedad específica aparente ( $G_{sa}$ )

$$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

Donde:

A = peso del agregado seco, al aire (horno)

B = peso del picnómetro (matraz) + agua

C = peso matraz (500 ML) + agua + material seco

Es importante mencionar que la manera en que se realizó la gravedad específica de los finos, fue mediante la norma AASHTO T-84, y que se puede también trabajar las gravedades específicas de los agregados presentes en la mezcla, separándolos de la siguiente manera: tomando del tamaño máximo al tamiz No. 4 (Gruesos), del tamiz No 4 al tamiz No200 (FINOS), y el pasa 200 como filler.

**Tabla XI. Resultado de gravedades específicas del agregado fino de origen calizo**

ITEM	PESO gr.		
	1	2	3
descripción			
peso matraz	173.2	159.6	180.5
matraz +material	263.3	249.9	270.5
peso material (A)	90.0	90.3	90.0
peso (matraz+mat+agua) (C)	728.2	714.3	735.1
matraz+agua (B)	670.5	657.1	677.5
Gsa	2.786	2.728	2.778
<b>Promedio (Gsa)</b>	<b>2.764</b>		

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

**Tabla XII. Resultado de gravedades específicas del agregado fino de origen basáltico**

ITEM	PESO gr.		
	1	2	3
descripción			
peso matraz	173.3	159.7	172.8
matraz + agua	263.3	250.0	263.3
peso material (A)	90.0	90.0	90.0
peso (matraz+mat+agua) (C)	728.1	714.8	727.8
matraz+agua (B)	671.6	658.1	671.1
Gsa	2.687	2.703	2.703
<b>Promedio (Gsa)</b>	<b>2.698</b>		

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

### 3.2.10 Peso unitario (AASHTO T 19, ASTM C29)

El ensayo de peso unitario tiene como objetivo encontrar el peso de la mezcla de agregado pétreo presente en la mezcla asfáltica, uniforme en calidad y según las especificaciones su densidad y su peso unitario no debe ser menor de 1360 kilogramos por metro cúbico.

**Tabla XIII. Resultado de ensayo de peso unitario de material calizo y basáltico**

ITEM	PROBETA		
	1	2	3
DESCRIPCION			
<b>Peso unitario calizo (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1498</b>	<b>1470</b>	<b>1490</b>
<b>Promedio</b>	<b>1486</b>		
<b>Peso unitario basáltico (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1520</b>	<b>1534</b>	<b>1568</b>
<b>Promedio</b>	<b>1541</b>		

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

### 3.2.11 Equivalente de arena

Este ensayo se efectúa con el fin de conocer el porcentaje relativo de finos plásticos que contiene los suelos y los agregados pétreos; es un método rápido que se puede hacer tanto en el campo como en el laboratorio. Se lleva a cabo cuando se trata de materiales que se usaran para base, sub base o agregados para concreto asfáltico y concreto hidráulico.

E.A = Equivalente de arena

$$E.A = \frac{LECTURA DE GRUESO}{LECTURA DE FINOS}$$

**Tabla XIV. Resultados de el ensayo de equivalente de arena, material de origen calizo**

ITEM	PROBETA		
	1	2	3
DESCRIPCIÓN			
Lectura de gruesos	2.8	2.9	2.7
Lectura de finos	4.2	4.2	4.3
E.A	66.7	69.0	62.8
PROMEDIO	66.2		

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

**Tabla XV. Resultados de el ensayo de equivalente de arena, material de origen basáltico**

ITEM	PROBETA		
	1	2	3
DESCRIPCIÓN			
Lectura de grueso	2.8	2.8	2.9
Lectura de finos	3.8	4.1	4.2
E.A	73.7	68.3	69.0
PROMEDIO	70.3		

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

### **3.2.12 Características del cemento asfáltico**

En este trabajo, se utilizó cemento asfáltico (AC-20) clasificado así por su grado de viscosidad, como se mencionó anteriormente los ensayos que se le deben realizar a el cemento asfáltico son: Gravedad específica a 60°F, peso, penetración, viscosidad 140 °F poises, viscosidad 275 °F cST, Flash point, COC, °F, punto de ablandamiento, °F, solubilidad en TCE %.

Para fines demostrativos, se incluye una tabla de cómo se presentan los informes de los ensayos realizados al cemento asfáltico, en anexos.

## **4. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL, PARA EL MATERIAL CALIZO Y BASÁLTICO**

### **4.1 Introducción al diseño método Marshall**

El diseño de mezclas asfálticas de pavimentación consiste, en gran parte en seleccionar y proporcionar materiales para obtener las propiedades deseadas, en el pavimento terminado. El objetivo general del procedimiento de diseño consiste en determinar una combinación y graduación económica de agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto) y asfalto que produzca una mezcla con:

- Suficiente asfalto para garantizar un pavimento durable.
- Adecuada estabilidad para que satisfaga las demandas de transito sin producir deformación o desplazamiento.
- Un contenido de vacíos lo suficiente alto para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas de transito, sin que se produzca exudación o pérdida de estabilidad, y todavía lo suficientemente bajo para no dejar penetrar los efectos dañinos del aire y el agua.
- Suficiente trabajabilidad para permitir una colocación eficiente sin segregación.

El diseño de mezcla seleccionado es, usualmente el más económico y el que cumple satisfactoriamente con todos los criterios establecidos. El diseño de mezclas es una herramienta usada en el control. Es utilizada en la aceptación de materiales, en el control de la mezcla en obra y en la compactación final del pavimento.

El concepto del Método Marshall de diseño de mezclas de pavimentación fue desarrollado por Bruce Marshall. Ex ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Misisipi. El ensayo Marshall, en su forma actual, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple.

El cuerpo de Ingenieros decidió adoptar el método Marshall, y desarrollarlo y adaptarlo para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito, y de estudios de correlación, en el laboratorio, el cuerpo de ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del ensayo Marshall, y posteriormente desarrolló criterios de diseño de mezclas.

**El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados.** El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall, como se presenta en esta sección, solo se aplica a mezclas asfálticas en caliente de pavimentación que usan cemento asfáltico (AC) clasificado por su viscosidad o penetración, y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.00mm(1 pulgada) o menos. El método puede ser usado para diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas en caliente para pavimentación.

El Método Marshall usa muestras normalizadas de prueba probetas de 64 mm (2.5 pulgadas) de espesor por 102 mm (4 pulgadas) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

## **DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL**

A continuación se presenta una descripción general de los procedimientos seguidos en el diseño Marshall de mezclas. El procedimiento completo y detallado que debe ser seguido se encuentra en la norma AASHTO T 245 o (ASTM D 1559).

Como se analizó anteriormente, los diferentes tipos de agregados y asfaltos presentan diferentes características. Estas características tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento.

El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etcétera) que debe tener la mezcla de pavimentación y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto, en este caso se analizarán por separado el material calizo y el material basáltico, usando para los dos materiales el cemento asfáltico (AC-20) que es el más común y usado en toda el territorio nacional, con el objetivo de combinarse para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

La primera preparación de los ensayos consta de reunir muestras de asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la muestra final. Lo mismo debe de ocurrir con las muestra de agregado. La razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezcla determinan la fórmula o receta para la mezcla de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

La preparación del agregado es de suma importancia, la relación viscosidad temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para poder establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

## **Secando el agregado**

El método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan práctico como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos, una muestra de cada agregado a ser ensayado se coloca en una bandeja, por separado, y se calientan en un horno, a una temperatura de 110 °C (230 °F), después de cierto tiempo la muestra se pesa y se registra su valor.

La muestra se calienta completamente una segunda vez y se vuelve a pesar y registrar su valor, este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante después de dos calentamientos consecutivos, lo cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra.

EL peso específico del agregado, como se vio en el capítulo 3, se determina y luego es integrado respecto de la granulometría de realizada a la mezcla final.

## **Análisis granulométrico vía húmeda**

El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento usado para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestra del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas.

## **Procedimiento de análisis granulométrico**

1. Cada muestra del agregado es secada y pesada.
2. Luego cada muestra del agregado es lavada a través de un tamiz de 0.075mm (No 200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo el agregado.
3. Las muestras lavadas son secadas siguiendo el procedimiento de calentado y secado.
4. El peso seco de la muestra es registrado, la cantidad de polvo mineral puede ser determinada, si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.
5. Para obtener más detalles del procedimiento referirse a la norma AASHTO T11 Y T-27.

### **4.1.1 Integración de materiales de acuerdo a un tipo específico de graduación**

Una vez tenemos los datos de las granulometrías individuales de cada tamaño de material que usaremos en la muestra, podemos comenzar a integrar, porcentajes de cada tamaño, a fin de obtener una curva granulométrica continua sin muchos cambios que este dentro de las especificaciones, en este caso debido a que nuestro tamaño máximo nominal en el agregado más grande (3/4 a 3/8), es de  $\frac{3}{4}$  utilizaremos una **curva tipo D**.

El cálculo es muy sencillo, se debe multiplicar, el % que uno proponga por el (% pasa) de cada granulometría, en el cuadro siguiente se muestra la manera como se integra.

**Figura 18. Integración de materiales de origen calizo, a una curva tipo D**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC										MÉTODO MARSHALL		
Malla	diámetro mm	% que pasa				% para integración			curva integrada	Parámetros Curva D	FULLER 3/4	
		3/4 a 3/8	3/8 a 1/4	1/4 a 0	0	3/4 a 3/8	3/8 a 1/4	1/4 a 0				
		0	0	0	0	0.3	0.3	0.4				
2	50.000	0	100	100	100	0	30.0	30.0	40.0	100.0		
1 1/2	38.100	0	100	100	100	0	30.0	30.0	40.0	100.0		
1	25.000	0	100	100	100	0	30.0	30.0	40.0	100.0	100	100
3/4	19.000	0	88.7	100	100	0	26.6	30.0	40.0	96.6	90-100	100
1/2	12.500	0	39.3	100	100	0	11.8	30.0	40.0	81.8		
3/8	9.500	0	7.6	89.5	100	0	2.3	26.9	40.0	69.1	56-80	70
4	4.750	0	2.1	13	98.2	0	0.6	3.9	39.3	43.8	35-65	50
8	2.360	0	1.3	0.7	73.3	0	0.4	0.2	29.3	29.9	23-49	36
16	1.180	0	1.0	0.4	52.1	0	0.3	0.1	20.8	21.3		
30		0	1.0	0.4	36.4	0	0.3	0.1	14.6	15.0		
50	0.300	0	1.0	0.4	25.8	0	0.3	0.1	10.3	10.7	5-19	12
100	0.150	0	0.8	0.4	18.4	0	0.2	0.1	7.4	7.7		
200	0.075	0	0.8	0.4	13.4	0	0.2	0.1	5.4	5.7	2-8	6

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

**CURVA DE DENSIDAD MÁXIMA DE FULLER**

$$* p = 100 * \left(\frac{d}{D}\right)^{0.5}$$

\*p = porcentaje pasa del tamiz en cuestión (el analizado)

d = abertura en mm del tamiz en cuestión (el analizado)

D = abertura en mm del tamiz más grande en la gradación (máximo nominal)

**Figura 19. Integración de materiales de origen basáltico,  
a una curva tipo D**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC											MÉTODO MARSHALL	
Malla	diámetro mm	% que pasa				% para integración				curva integrada	Parámetros Curva D	FULLER 3/4
		0	3/4 a 3/8	3/8 a 1/4	1/4 a 0	0	3/4 a 3/8	3/8 a 1/4	1/4 a 0			
			0	0.3	0.3		0.4					
2	50.000	0	100	100	100	0	30.0	30.0	40.0	100.0		
1 1/2	38.100	0	100	100	100	0	30.0	30.0	40.0	100.0		
1	25.000	0	100	100	100	0	30.0	30.0	40.0	100.0	100	100
3/4	19.000	0	85.9	100	100	0	25.8	30.0	40.0	95.8	90-100	100
1/2	12.500	0	32.8	100	100	0	9.8	30.0	40.0	79.8		
3/8	9.500	0	3.7	85.5	100	0	1.1	25.7	40.0	66.8	56-80	70
4	4.750	0	1.2	14	96.7	0	0.4	4.2	38.7	43.2	35-65	50
8	2.360	0	1.2	4	74.5	0	0.4	1.2	29.8	31.4	23-49	36
16	1.180	0	1.2	3	54.9	0	0.4	0.9	22.0	23.2		
30	0.600	0	1.0	2.5	40.5	0	0.3	0.8	16.2	17.3		
50	0.300	0	1.0	2.3	30.1	0	0.3	0.7	12.0	13.0	5-19	12
100	0.150	0	1.0	2	21.6	0	0.3	0.6	8.6	9.5		
200	0.075	0	0.8	2	13.1	0	0.2	0.6	5.2	6.1	2-8	6

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

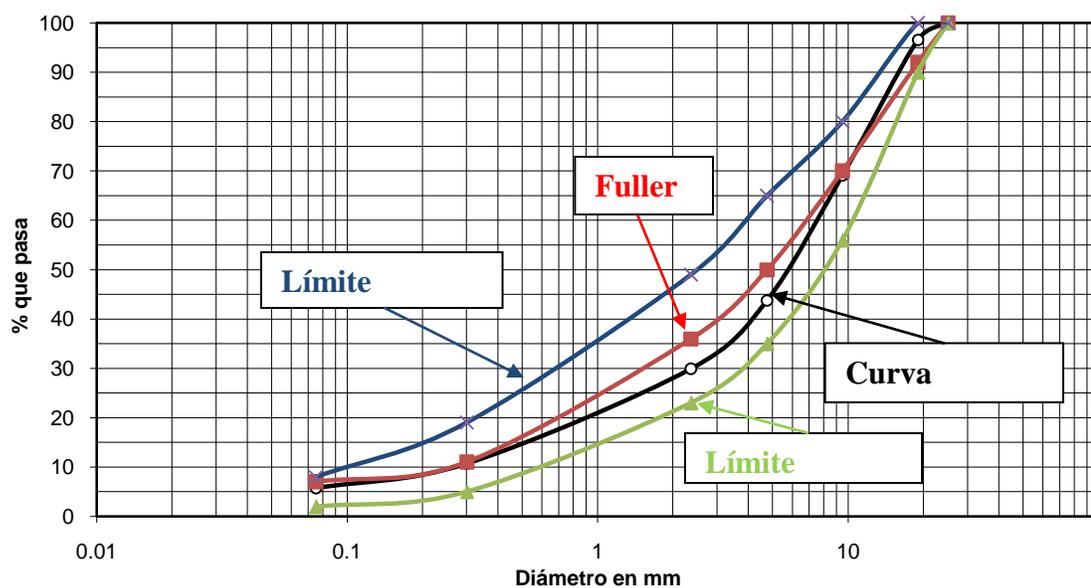
Los tamices 1", 3/4", 3/8", No 4, No 8, No 50, No 200, aparecen resaltado en los cuadros porque son los tamices correspondientes a la especificación de graduación tipo D.

Es oportuno mencionar que la experiencia ha demostrado que **No** se deben realizar mezclas en las cuales el material queda justamente al centro de los parámetros, ya que coinciden con la línea de densidad máxima de fuller, y a mayor densidad menos vacíos, entonces los demás parámetros especificados no se cumplen.

En los diseños hechos se trato de reunir las mismas condiciones, ya que se consiguió materiales que básicamente eran de los mismos tamaños de trituración, esto con el hecho de estudiar el material y su comportamiento y poder compararlos de la manera más semejante posible. Se propuso una formula de trabajo de 30% de gruesos (3/4 a 3/8). 30 % de intermedios (3/8 a 1/4) y 40% de finos (1/4 a 0), dando buenos resultados, la curva se integro hacia el lado de los gruesos, con el propósito de que la mezcla final compactada tenga una textura relativamente gruesa que se ha visto dan buenos resultados.

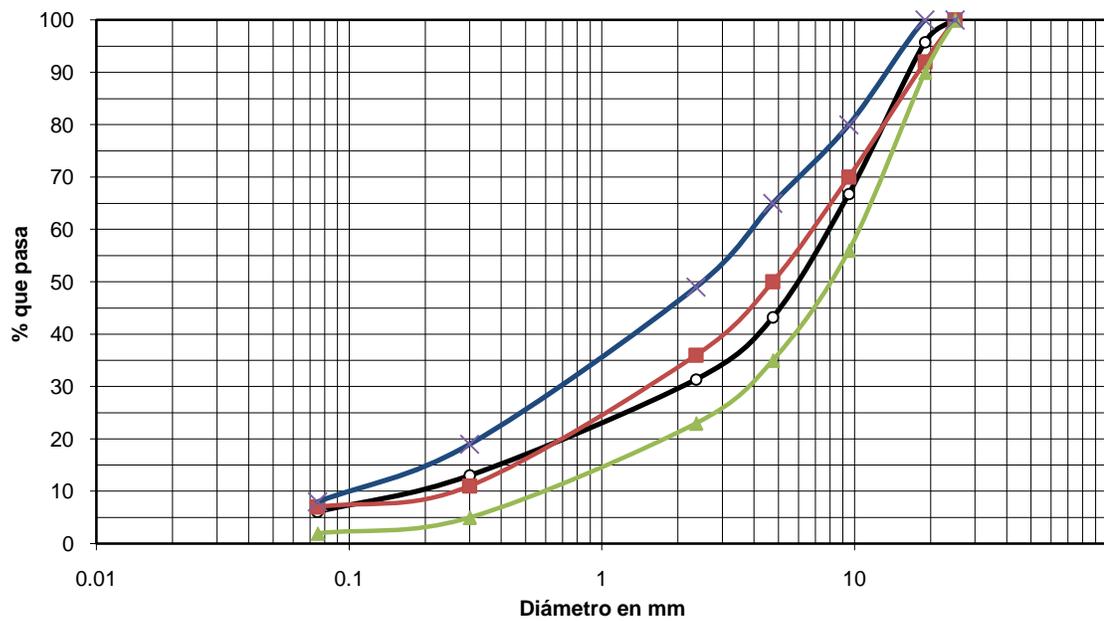
**Figura 20. Gráfico granulométrico de integración de materiales de origen calizo**

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa	FULLER	LMIN	LMAX
1	25	100	100	100	100
3/4	19	96.60	100	90	100
3/8	9.50	69.10	70	56	80
4	4.75	43.80	50	35.0	65
8	2.36	29.90	36	23.0	49
50	0.3	10.70	12	5.00	19
200	0.075	5.70	6	2	8



**Figura 21. Gráfico granulométrico de integración de materiales de origen basáltico**

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa	FULLER	L.MIN	L.MAX
1	25	100	100	100	100
3/4	19	95.80	100	90	100
3/8	9.50	66.80	70	56	80
4	4.75	43.20	50	35.0	65
8	2.36	31.40	36	23.0	49
50	0.3	13.00	12	5.00	19
200	0.075	6.10	6	2	8



#### 4.1.2 Cálculo de gravedades específicas de los materiales

Las gravedades específicas de los materiales ya se calcularon en el capítulo tres, en esta parte solo se mostrará el proceso de integración de las gravedades específicas. Ya que se conoce, la Gse del agregado grueso del agregado intermedio y del agregado fino, debemos conocer la cantidad de gruesos, intermedios y finos, que están presentes en la graduación tipo D. graduación Tipo D material basáltico, de la misma manera se calcula La Gsb, y la Gsa restantes del material basáltico y las del calizo.

Hay que hacer la diferencia que cuando se está en el proceso de la obtención de materiales para realizar un diseño de mezcla, hablábamos de materiales gruesos y finos, y la subdivisión de los gruesos en, gruesos e intermedios, pero otra cosa es la separación que se realiza de la mezcla ya integrada con fines de conocer las gravedades específicas de gruesos intermedios y finos los cuales presentan la siguiente separación, para el caso de la curva tipo D de nuestros diseños.

**Cantidad de gruesos** (*pasa 1" retenido No 4*) = 56.8 %

**Cantidad de intermedios** (*pasa No 4 retenido No 40*) = 27.2 %

**Cantidad de finos** (*pasa No 40 hasta fondo*) = 16.0 %

El valor Gse integrado de agregados sería igual multiplicar la gravedad específica del agregado de cada tamaño por el porcentaje de este que se encuentra presente en la mezcla.

$$Gse = (2.673 * 56.8\%) + (2.615 * 27.2\%) + (2.698 * 16.0\%) = 2.661$$

### **4.1.3 Análisis del porcentaje de cemento asfáltico conveniente a usar**

Como se mencionó en el capítulo tres, el rango entre el cual se debe realizar un diseño de concreto asfáltico varía de acuerdo a las gravedades específicas de los agregados y el porcentaje de absorción de los mismos, cuando un agregado es bueno en cuanto a sus características físicas y tiene un % de absorción bajo, generalmente la cantidad de cemento asfáltico para iniciar el diseño se reduce.

En este caso los materiales independientemente de si son calizos o basálticos, son de alta calidad, y tienen absorciones bajas por lo cual el rango de % de AC se realizó entre 4.0 y 6.5 % para los diseños.

Un paso importante es de analizar cómo se le agregara el porcentaje al diseño, ya que el rango de % de AC sería de la siguiente manera: 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, es decir realizaremos 3 probetas de cada punto, y le agregaremos dicho porcentaje en peso de la muestra total, que comúnmente las pastillas se proporcionan entre 1100 y 1200 gr. de material pétreo.

**Tabla XVI. Ejemplo proporcionamiento exacto de agregado pétreo calizo y AC**

pastilla con % AC		4		AC-20 (gr)	44		
PESO NETO PASTILLA(gr)		1100		PESO EN gr.			
PESO NETO DE MATERIAL(gr)		1056					
% DE GRANULOMETRIAS INDIVIDUALES				GRUESOS	INTER.	FINOS	
tamiz	% RET GRUESOS	% RET INTER.	% RET FINOS	30%	30%	40%	
1	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
3/4	11.3	0	0	35.8	0.0	0.0	
3/8	81.1	10.5	0	256.9	33.3	0.0	
4	5.5	76.5	1.8	17.4	242.4	7.6	
8	0.8	12.3	24.9	2.5	39.0	105.2	
50	0.3	0.3	47.5	1.0	1.0	200.6	
200	0.2	0	12.4	0.6	0.0	52.4	
FONDO	0.8	0.4	13.4	2.5	1.3	56.6	
		100	100	100	316.8	316.8	422.4
							1056.0

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

**Tabla XVII. Ejemplo proporcionamiento exacto de agregado pétreo basáltico y AC**

pastilla con % AC		4		AC-20 (gr)	44		
PESO NETO PASTILLA(gr)		1100		PESO EN gr.			
PESO NETO DE MATERIAL(gr)		1056					
% DE GRANULOMETRIAS INDIVIDUALES				GRUESOS	INTER.	FINOS	
tamiz	% RET GRUESOS	% RET INTER.	% RET FINOS	30%	30%	40%	
1	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
3/4	14.1	0	0	44.7	0.0	0.0	
3/8	82.2	14.5	0	260.4	45.9	0.0	
4	2.5	71.5	3.3	7.9	226.5	13.9	
8	0	10	22.2	0.0	31.7	93.8	
50	0.2	1.8	44.4	0.6	5.7	187.5	
200	0.2	0.2	17	0.6	0.6	71.8	
FONDO	0.8	2	13.1	2.5	6.3	55.3	
		100	100	100	316.8	316.8	422.4
							1056.0

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

Como se observa en las tablas anteriores, el proporcionamiento de pesos para cada pastilla debe de ser exacto, la manera de calcular los pesos se explica a continuación:

Por ejemplo si deseamos calcular el peso de agregado grueso de tamaño de 3/8 que debemos proporcionar en la pastilla, necesitamos tener los siguientes datos:

Datos:

% AC = 4.5

Peso neto de pastilla = 1100 gr

Peso neto de material = 1050.5 gr

Peso neto de AC = 49.5gr

% de agregado grueso de tamaño 3/8 = 81.1

% de agregado grueso a integrar = 25 %

Peso de agregado de tamaño 3/8 de gruesos = (PA3/8G)

$$PA3/8G = 1050.5 * 81.1\% * 25\% = 213.0 \text{ gr}$$

#### **4.1.4 Realización de muestras (briquetas o pastillas) de ensayo**

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenidos de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final, la proporción de agregado en las mezclas esta formulada por los resultados del análisis granulométrico.

**Las muestras son preparadas de la siguiente manera:**

1. El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas del agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en planta.

**Figura 22. Calentamiento de agregados de AC**



**Figura 23. Mezclado de agregados y AC.**



2. La mezcla asfáltica caliente se coloca en los moldes precalentados Marshall, como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.

**Figura 24. Colocación de mezcla asfáltica en moldes precalentados**



**Figura 25. Mezcla asfáltica colocada en molde, antes de ser compactada**



#### 4.1.5 Compactación de probetas

Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación, El número de golpes del martillo (35, 50,75) depende de la cantidad del tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente un total de 70 golpes, una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos y una de 75 golpes recibe 150 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

**Figura 26. Compactación de pastilla**



**Figura 27. Enfriamiento de pastillas**



#### 4.1.6 Curado de probetas

Después de haber sido compactadas, las probetas, se dejan enfriar de 10 a 15 minutos máximo antes de sacarlas de el molde, una vez las probetas están fuera del molde se procede, a dejarlas enfriar a temperatura ambiente durante 24 horas mínimo, antes de ensayarlas en la máquina de estabilidad Marshall.

**Figura 28. Curado de pastillas antes de ser ensayadas en la máquina Marshall**



**Figura 29. Colocación de pastillas en baño maría antes de ser ensayadas**



#### **4.1.7 Ensayo de probetas**

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga que ocurre en la mezcla.

El procedimiento del ensayo es el siguiente:

1. Las probetas son calentadas en un baño de agua (baño maría) a 60 °C (140°F). Esta temperatura representa, normalmente la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
2. La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste de un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia), llamado también flow.
3. La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 pulgadas) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la probeta puede resistir.
4. La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como fluencia o flow.

**Figura 30. Ensayo de probetas en máquina Marshall.**



**Figura 31. Máquina Marshall**



## **4.2 Cálculo de características de la mezcla (calizo/basalto)**

### **4.2.1 Gravedad específica Bulk de briqueta (Gmb)**

Esta gravedad específica, es la masa por unidad de volumen de la mezcla compactada, este también es conocido como el peso específico total de la mezcla, el peso específico de cada probeta se determina tan pronto las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente, lo ideal es dejar las probetas, mínimo 24 horas, al ambiente, para que estén totalmente frías.

### **PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

- A. Se prepara el equipo que consiste en una balanza de brazo, o también llamada romana con aproximación a 0.10 de gramo, una cubeta plástica y una pita de cáñamo o material que se pueda hundir fácilmente en el agua esta pita se amarra a la parte inferior de la balanza. Se nivela la balanza y se deja a cero.
- B. Estando listo el equipo, se procede a pesar las pastillas que ya están totalmente frías, se pesan en el aire, este peso será el peso en el aire sin parafina, (PASP).
- C. Luego se procede a emparafinar la pastilla con el propósito de que al momento de sumergirla no le ingrese el agua, recordando que la densidad de la parafina es de  $0.88 \text{ gr/ cm}^3$ .
- D. Luego de esto procedemos a tomar el segundo peso que será el peso en el aire con parafina (PACP).
- E. Una vez tomados los pesos anteriores, procederemos a tomar el peso de la pastilla sumergida, colocando la pastilla en la pita y sumergiéndola en el agua, este será el tercer peso, al cual llamaremos peso en el agua con parafina (PAGCP).

## Cálculos

Datos:

- (1) Peso en el aire sin parafina (PASP)
- (2) Peso en el aire con parafina (PACP)
- (3) Peso en el agua con parafina (PAGCP)

Partimos de la ecuación  $densidad = \frac{masa}{volumen}$

$$PESO DE PARAFINA = PACP - PASP$$

$$VOLUMEN DE PARAFINA = \frac{PESO DE PARAFINA}{0.88}$$

Ya que tenemos el volumen de la parafina, calculamos el volumen de la pastilla con parafina:

Volumen de pastilla con parafina (VPCP)

$$VPCP = PACP - PAGCP$$

Restando el volumen de la parafina del volumen de la pastilla con parafina encontramos el volumen de la pastilla.

Volumen de la pastilla (VPA)

$$VPA = VPCP - VOLUMEN DE PARAFINA$$

Sabiendo que la  $densidad = \frac{masa}{volumen}$

Gravedad específica de la pastilla (Gmb)

$$Gmb = \frac{PASP}{VPA}$$

**Tabla XVIII. Gmb de briquetas de diseño de concreto asfáltico de material calizo.**

<b>Briqueta 4.0%AC</b>	PASP	PACP	<b>Peso para.</b>	<b>Vol. par.</b>	PAGCP	VPCP	VPA	<b>Gmb</b>
1	1092.5	1110.5	18.0	20.5	623.2	487.3	466.8	2.3404
2	1097.8	1121.6	23.8	27.0	625.7	495.9	468.9	2.3412
3	1091.2	1109.9	18.7	21.3	623.7	486.2	464.9	2.3472
<b>4.5%AC</b>								<b>PROM 2.342</b>
4	1083.8	1107.5	23.7	26.9	630.3	477.2	450.3	2.4068
5	1092	1120.9	28.9	32.8	627.9	493.0	460.2	2.3729
6	1087.6	1108.8	21.2	24.1	624.5	484.3	460.2	2.3633
<b>5.0%AC</b>								<b>PROM 2.381</b>
7	1084.5	1104.3	19.8	22.5	632.3	472.0	449.5	2.4127
8	1084.7	1104.6	19.9	22.6	637.2	467.4	455.3	2.3824
9	1083.7	1100.5	16.8	19.1	631.4	469.1	450.0	2.4082
<b>5.5%AC</b>								<b>PROM 2.401</b>
10	1090.2	1111.2	21.0	23.9	641.5	469.7	445.8	2.4455
11	1069.1	1086.8	17.7	20.1	626.5	460.3	440.2	2.4287
12	1080.2	1105.4	25.2	28.6	626.2	479.2	450.6	2.3974
<b>6.0%AC</b>								<b>PROM 2.424</b>
13	1065.4	1084.0	18.6	21.1	625.1	458.9	437.8	2.4337
14	1086.8	1100.0	13.2	15	637.8	462.2	447.2	2.4302
15	1088.5	1102.1	13.6	15.5	640.6	461.5	446.0	2.4403
<b>6.5% AC</b>								<b>PROM 2.435</b>
16	1082.2	1099.8	17.6	20	634.5	465.3	445.3	2.4303
17	1072.0	1091.0	19.0	21.6	624.5	466.5	444.9	2.4095
18	1088.5	1104.9	16.4	18.6	635.9	469.0	450.4	2.4169 PROM <b>2.419</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

**Tabla XIX. Gmb de briquetas de diseño de concreto asfáltico de material basáltico**

<b>Briqueta 4.0%AC</b>	<b>PASP</b>	<b>PACP</b>	<b>Peso para.</b>	<b>vol. Para.</b>	<b>PAGCP</b>	<b>VPCP</b>	<b>VPA</b>	<b>Gmb</b>
<b>1</b>	1096.6	1111.2	14.6	16.6	628.7	482.5	465.9	2.3537
<b>2</b>	1099.1	1111.3	12.2	13.9	632.2	479.1	465.2	2.3626
<b>3</b>	1096.0	1104.4	8.4	9.5	625.7	478.7	469.2	2.3359
<b>4.5%AC</b>								<b>PROM 2.351</b>
<b>4</b>	1094.8	1102.2	7.4	8.4	636.6	465.6	457.2	2.3946
<b>5</b>	1095.4	1102.2	6.8	7.7	647.8	464.0	456.3	2.4006
<b>6</b>	1090.4	1100.0	9.6	10.9	626.3	473.7	462.8	2.3561
<b>5.0%AC</b>								<b>PROM 2.384</b>
<b>7</b>	1087.0	1094.4	7.4	8.4	636.8	457.6	449.2	2.4199
<b>8</b>	1089.3	1094.7	5.4	6.1	638.1	456.6	450.5	2.4180
<b>9</b>	1087.6	1092.8	5.2	5.9	636.7	456.1	450.2	2.4158
<b>5.5%AC</b>								<b>PROM 2.418</b>
<b>10</b>	1082.2	1086.3	4.1	4.7	635.5	450.8	446.1	2.4259
<b>11</b>	1084.5	1088.1	3.6	4.1	635.1	453.0	448.9	2.4159
<b>12</b>	1091.8	1096.5	4.7	5.3	642.1	454.4	449.1	2.4311
<b>6.0%AC</b>								<b>PROM 2.424</b>
<b>13</b>	1078.5	1083.3	4.8	5.5	633.9	449.4	443.9	2.4294
<b>14</b>	1083.6	1088.3	4.7	5.3	636.0	452.3	447.0	2.4242
<b>15</b>	1081.1	1089.5	8.4	9.5	634.5	455.0	445.5	2.4270
<b>6.5%AC</b>								<b>PROM 2.427</b>
<b>16</b>	1086.1	1089.9	3.8	4.3	636.5	453.4	449.1	2.4185
<b>17</b>	1089.9	1095.5	5.6	6.4	636.7	458.8	452.4	2.4012
<b>18</b>	1092.6	1097.3	4.7	5.3	639.8	457.5	452.2	2.4164 <b>PROM 2.412</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

#### 4.2.2 Gravedad específica máxima de la mezcla (Gmm/Rice)

Esta gravedad específica es la masa por unidad de volumen, máxima que puede llegar a tener la mezcla asfáltica, y existen dos formas de encontrarla, ya sea por el ensayo de la AASHTO T-166, o por la ecuación de densidad máxima teórica de la mezcla (Gmm).

#### Cálculos

Datos:

Gmb (gravedades específica bruta de la mezcla): 2.342

Vbe (volumen de asfalto efectivo): 0.08119

Vsb (volumen bruto de agregado): 0.84523

$$Gmm = \frac{Gmb}{(Vbe + Vsb)} = 2.528$$

Que quiere decir que la mezcla, alcanzaría una densidad máxima de 2,528 Kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla XX. Gmm de briquetas del diseño de mezcla con material calizo y basáltico**

DISEÑO MATERIAL CALIZO		DISEÑO MATERIAL BASÁLTICO	
% AC	Gmm (g/cm <sup>3</sup> )	% AC	Gmm (g/cm <sup>3</sup> )
4.0	2.528	4.0	2.510
4.5	2.510	4.5	2.492
5.0	2.492	5.0	2.475
5.5	2.475	5.5	2.458
6.0	2.457	6.0	2.441
6.5	2.440	6.5	2.424

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

### 4.2.3 Gravedad específica de agregados (Gse)

La gravedad específica de agregados es la integración de gravedades específicas del agregado grueso, intermedio y fino, de acuerdo al porcentaje que se encuentra de cada uno de estos tamaños en la graduación de la mezcla, en este caso tomaremos la Gravedad específica efectiva.

#### Cálculos

Gse agregado grueso: 2.673

Gse agregado intermedio: 2.615

Gse agregado fino: 2.698

Ya que se conoce, la Gse del agregado grueso del agregado intermedio y del agregado fino, debemos conocer la cantidad de gruesos, intermedios y finos, que están presentes en la graduación tipo D.

Graduación tipo D material basáltico

**Cantidad de gruesos** (*pasa 1" retenido No 4*) = 56.8 %

**Cantidad de intermedios** (*pasa No 4 retenido No 40*) = 27.2 %

**Cantidad de finos** (*pasa No 40 hasta fondo*) = 16.0 %

El valor Gse integrado de agregados sería igual multiplicar la gravedad específica del agregado de cada tamaño por el porcentaje de este que se encuentra presente en la mezcla.

$$Gse = (2.673 * 56.8\%) + (2.615 * 27.2\%) + (2.698 * 16.0\%) = 2.661$$

**Tabla XXI Gse de la mezcla de agregados para el material calizo y basáltico**

<b>DISEÑO MATERIAL CALIZO</b>		<b>DISEÑO MATERIAL BASÁLTICO</b>	
<b>% AC</b>	<b>Gse (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>% AC</b>	<b>Gse (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>4.0</b>	<b>2.682</b>	<b>4.0</b>	<b>2.661</b>
<b>4.5</b>	<b>2.682</b>	<b>4.5</b>	<b>2.661</b>
<b>5.0</b>	<b>2.682</b>	<b>5.0</b>	<b>2.661</b>
<b>5.5</b>	<b>2.682</b>	<b>5.5</b>	<b>2.661</b>
<b>6.0</b>	<b>2.682</b>	<b>6.0</b>	<b>2.661</b>
<b>6.5</b>	<b>2.682</b>	<b>6.5</b>	<b>2.661</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

#### **4.2.4 Absorción de asfalto, porcentaje**

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran parte de las características del agregado, tales como la granulometría y la absorción.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante, para encontrar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se pueda cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido, contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

En cuanto a la absorción de los materiales en estudio podemos decir que la absorción del agregado calizo es baja alrededor del 1.0 %, al igual que el de el agregado basáltico, que anda alrededor de 1.5 %.

### **Cálculos**

Datos:

Punto 6.5 % AC

Cba (contenido de asfalto absorbido)

Pba (peso de asfalto absorbido): 0.32780

Ps (peso de agregado): 2.26177

$$Cba = \frac{Pba}{Ps} * 100 = 0.328$$

**Tabla XXII. Contenido de asfalto absorbido, del material calizo y basáltico**

<b>DISEÑO MATERIAL CALIZO</b>		<b>DISEÑO MATERIAL BASÁLTICO</b>	
<b>% AC</b>	<b>Cba %</b>	<b>% AC</b>	<b>Cba %</b>
<b>4.0</b>	<b>0.33</b>	<b>4.0</b>	<b>0.41</b>
<b>4.5</b>	<b>0.33</b>	<b>4.5</b>	<b>0.41</b>
<b>5.0</b>	<b>0.33</b>	<b>5.0</b>	<b>0.41</b>
<b>5.5</b>	<b>0.33</b>	<b>5.5</b>	<b>0.41</b>
<b>6.0</b>	<b>0.33</b>	<b>6.0</b>	<b>0.41</b>
<b>6.5</b>	<b>0.33</b>	<b>6.5</b>	<b>0.41</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

#### 4.2.5 Asfalto efectivo, porcentaje

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe de ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados, el contenido efectivo de asfalto se obtiene de restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

#### Cálculos

Datos:

Gmb (Gravedad bruta de la mezcla): 2.351

Cb (contenido total de asfalto): 4 %

Cbe (contenido asfalto efectivo) = ¿?

Pbe (Peso de asfalto efectivo) = 0.08480

Pba (peso de asfalto absorbido) = 0.41%

$$Cbe = \frac{Pbe}{Gmb} * 100 = 3.61\%$$

$$cbe = Cb - Pba = 3.59$$

**Tabla XXIII. Contenido de asfalto efectivo del material calizo y basáltico**

<b>DISEÑO MATERIAL CALIZO</b>		<b>DISEÑO MATERIAL BASÁLTICO</b>	
<b>% AC</b>	<b>Cbe %</b>	<b>% AC</b>	<b>Cbe %</b>
<b>4.0</b>	<b>3.69</b>	<b>4.0</b>	<b>3.61</b>
<b>4.5</b>	<b>4.19</b>	<b>4.5</b>	<b>4.11</b>
<b>5.0</b>	<b>4.69</b>	<b>5.0</b>	<b>4.61</b>
<b>5.5</b>	<b>5.19</b>	<b>5.5</b>	<b>5.11</b>
<b>6.0</b>	<b>5.69</b>	<b>6.0</b>	<b>5.61</b>
<b>6.5</b>	<b>6.19</b>	<b>6.5</b>	<b>6.11</b>

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

#### **4.2.6 Vacíos de agregado mineral (VAM)**

Los vacíos en el agregado Mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (que es todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción en el agregado) y el volumen de vacios necesarios en la mezcla. Cuando mayor sea el VMA mas espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están especificado y recomendados en función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas del agregado, más durable será la mezcla.

## Cálculos

Datos:

VMA (Vacíos de agregado mineral)

Va (Volumen de vacíos de Aire): 0.06337

Vbe (Volumen de asfalto efectivo): 0.07977

Gmb (Gravedad específica bruta de la mezcla): 2.351

Cs (porcentaje de agregados): 96 %

Gsb (Gravedad específica bruta del agregado): 2.634

Forma 1

$$VMA = Va + Vbe = 0.14314 * 100 = 14.3 \%$$

Forma 2

$$VMA = 100 - \frac{Gmb * cs}{Gsb} = 14.3 \%$$

**Tabla XXIV. Valores de VMA de diseño de mezcla con material calizo y basáltico**

DISEÑO MATERIAL CALIZO		DISEÑO MATERIAL BASÁLTICO	
% AC	VAM %	% AC	VAM %
4.0	15.5	4.0	14.4
4.5	14.5	4.5	13.6
5.0	14.3	5.0	12.8
5.5	13.9	5.5	13.0
6.0	13.8	6.0	13.0
6.5	13.9	6.5	13.5

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

#### **4.2.7 Porcentaje de vacíos**

Los vacíos de aire o simplemente vacíos son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire que están presentes entre los agregados revestidos de mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico está en función de su contenido de vacíos, la razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente una densidad que permita acomodar al menor número posible (en realidad) de vacíos, preferiblemente menos del ocho por ciento.

## Cálculos

Datos:

Va (Vacíos de aire)

Vbe (Volumen de asfalto efectivo): 0.07977

Vsb (Volumen bruto de agregado): 0.85686

$$Va = 1 - (Vbe + Vsb) = 0.06337 * 100 = 6.3\%$$

**Tabla XXV. Valores de vacíos de diseño de mezcla con material calizo y basáltico**

DISEÑO MATERIAL CALIZO		DISEÑO MATERIAL BASÁLTICO	
% AC	Vacíos%	% AC	Vacíos%
4.0	7.4	4.0	6.3
4.5	5.2	4.5	4.3
5.0	3.7	5.0	2.3
5.5	2.0	5.5	1.3
6.0	0.9	6.0	0.6
6.5	0.8	6.5	0.5

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

### 4.2.8 Vacíos rellenos de asfalto (VFA / VRA)

Los vacíos rellenos de asfalto VFA son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenas de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA y luego dividiendo por el VMA, y expresando el valor final como un porcentaje.

## Cálculos

Datos:

VFA (Vacíos rellenos de asfalto): ¿?

Vbe (Volumen de asfalto efectivo): 0.07977

VAM (Vacíos de agregado mineral): 0.14314

Va (%Vacíos de aire): 0.06337

Forma 1

$$VFA = \frac{Vbe}{VAM} * 100 = 55.7$$

Forma 2

$$VFA = \frac{VAM - Va}{VAM} * 100 = 55.7$$

**Tabla XXVI. Valores de vacíos rellenos de asfalto (VRA)**

**Diseño de mezcla con material calizo y basáltico**

DISEÑO MATERIAL CALIZO		DISEÑO MATERIAL BASÁLTICO	
% AC	VRA	% AC	VRA
4.0	52.5	4.0	55.7
4.5	64.6	4.5	67.9
5.0	74.2	5.0	82.0
5.5	85.2	5.5	89.5
6.0	93.5	6.0	95.8
6.5	94.1	6.5	96.5

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

#### **4.2.9 Estabilidad**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y su lisura bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugaciones) y otras señas que indican cambios en la mezcla. Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exigen las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto menos durable que lo deseado. La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como la forma textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto.

Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras, debido a la fuerza ejercida por el tráfico.

En términos generales entre más angular sea la forma de una partícula de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla, el procedimiento es el siguiente:

- A. Las probetas o briquetas son calentadas en un baño de agua a 60°C (140°F) esta temperatura representa, normalmente la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- B. La probeta es removida del baño, secada y colocada rápidamente en el aparato Marshall, el aparato consiste de un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo cuando la carga es aplicada lentamente los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta, al igual que la lectura en el indicador del cuadrante.

Luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de estabilidad Marshall.

**Tabla XXVII. Valores de estabilidad de diseño de mezcla con material calizo y basáltico.**

<b>DISEÑO MATERIAL CALIZO</b>		<b>DISEÑO MATERIAL BASÁLTICO</b>	
<b>% AC</b>	<b>Estabilidad(lb)</b>	<b>% AC</b>	<b>Estabilidad(lb)</b>
<b>4.0</b>	<b>1448</b>	<b>4.0</b>	<b>1847</b>
<b>4.5</b>	<b>1812</b>	<b>4.5</b>	<b>2083</b>
<b>5.0</b>	<b>2011</b>	<b>5.0</b>	<b>2157</b>
<b>5.5</b>	<b>1970</b>	<b>5.5</b>	<b>2038</b>
<b>6.0</b>	<b>1699</b>	<b>6.0</b>	<b>1852</b>
<b>6.5</b>	<b>1421</b>	<b>6.5</b>	<b>1700</b>

Fuente:  
Datos en base a

ensayos realizados.

#### 4.2.10 Flujo o fluencia (flow)

La fluencia mide la deformación bajo carga que ocurre en la mezcla. La fluencia Marshall medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta, el medidor indica la deformación de la briqueta, para medir la deformación que sucede durante el ensayo, la deformación está indicada por la deformación del diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall se consideran demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio.

Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

**Tabla XXVIII. Valores de fluencia de diseño de mezcla con material calizo y basáltico.**

DISEÑO MATERIAL CALIZO		DISEÑO MATERIAL BASÁLTICO	
% AC	Fluencia (0.01")	% AC	Fluencia (0.01")
4.0	9	4.0	10
4.5	10	4.5	12
5.0	12	5.0	13
5.5	14	5.5	14
6.0	15	6.0	15
6.5	15	6.5	15

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

#### 4.2.11 Relación estabilidad / flujo

Es la relación que resulta al dividir el valor de estabilidad dentro del valor de flujo, debiendo estar este entre 120 y 275.

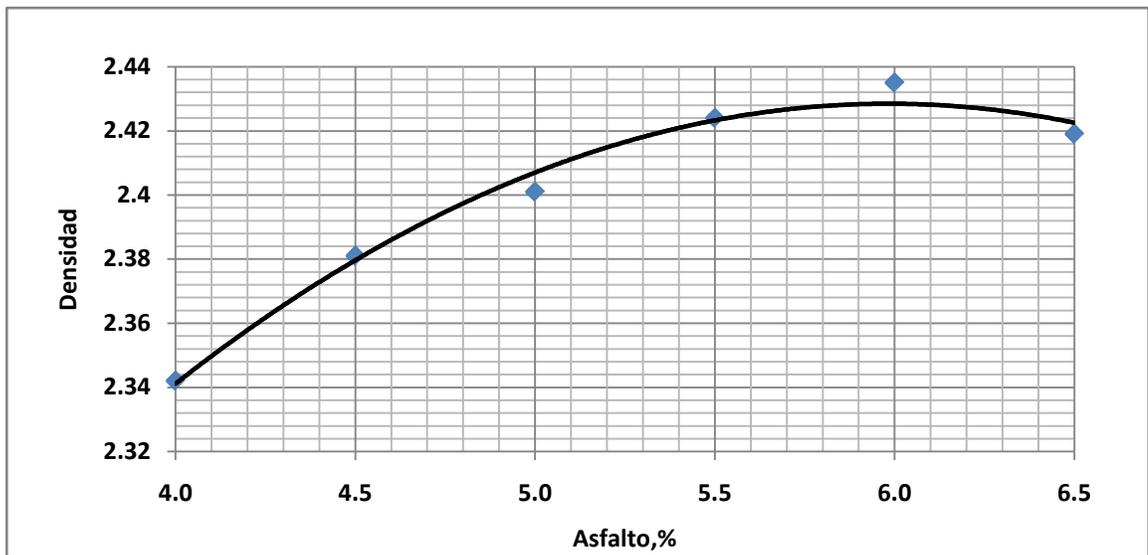
**Tabla XXIX. Valores de estabilidad / fluencia de diseño de mezcla Con material calizo y basáltico.**

<b>DISEÑO MATERIAL CALIZO</b>		<b>DISEÑO MATERIAL BASÁLTICO</b>	
<b>% AC</b>	<b>Estabilidad /Flow.</b>	<b>% AC</b>	<b>Estabilidad /Flow.</b>
<b>4.0</b>	<b>160.9</b>	<b>4.0</b>	<b>184.7</b>
<b>4.5</b>	<b>181.2</b>	<b>4.5</b>	<b>173.6</b>
<b>5.0</b>	<b>167.6</b>	<b>5.0</b>	<b>165.9</b>
<b>5.5</b>	<b>140.7</b>	<b>5.5</b>	<b>145.6</b>
<b>6.0</b>	<b>113.3</b>	<b>6.0</b>	<b>123.5</b>
<b>6.5</b>	<b>94.7</b>	<b>6.5</b>	<b>113.3</b>

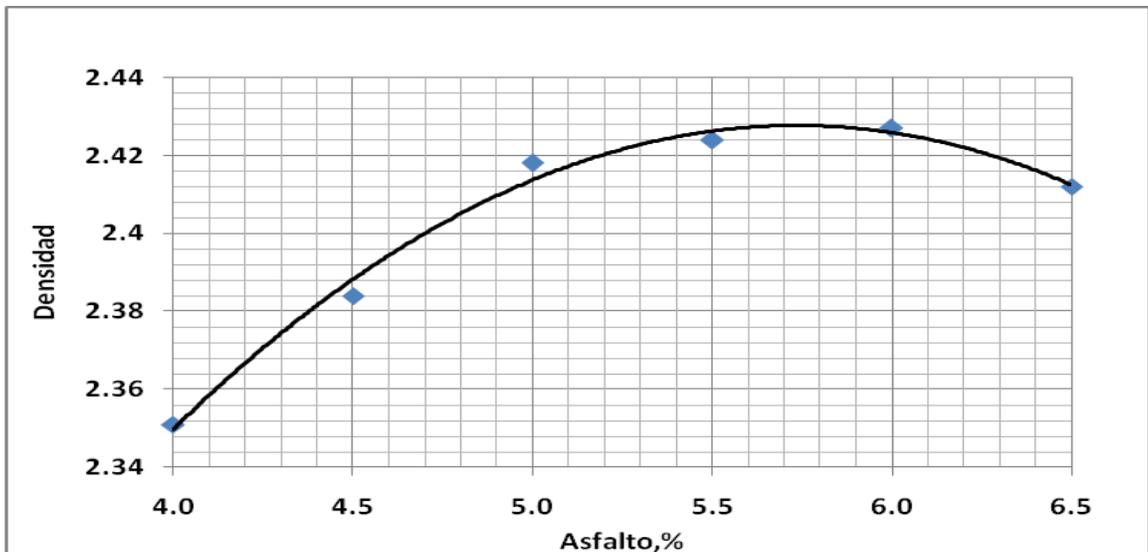
Fuente: Datos en base a ensayos realizados

**4.3 Gráficas ilustrativas del comportamiento del material con distintos % de cemento asfáltico, para el material calizo y basáltico por separado.**

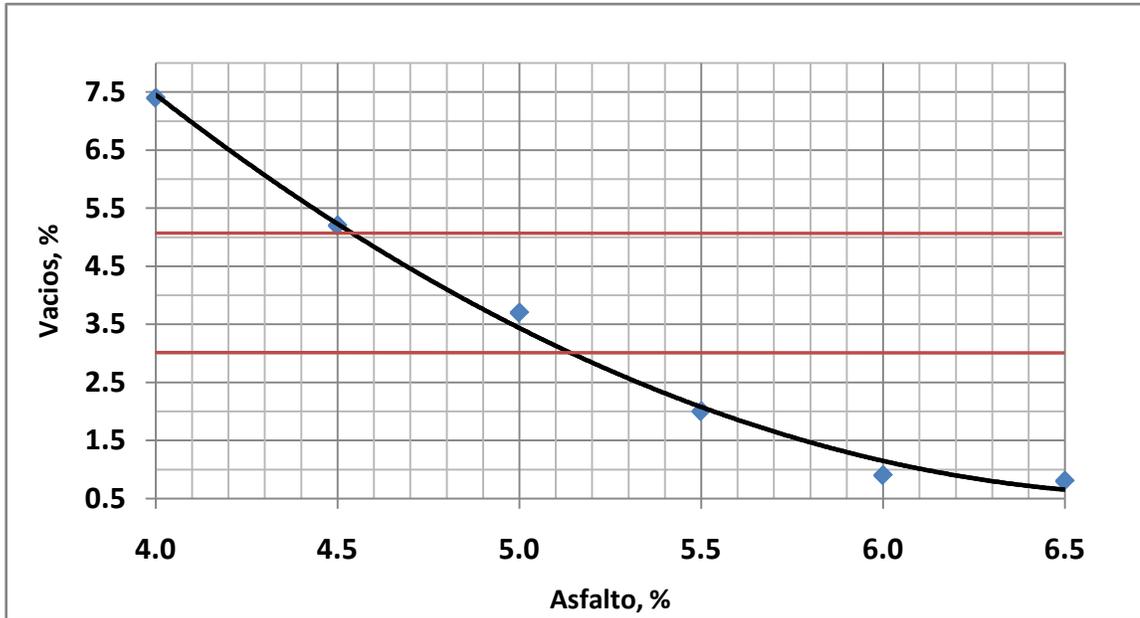
**4.3.1. Gráfica % asfalto contra, densidad (calizo)**



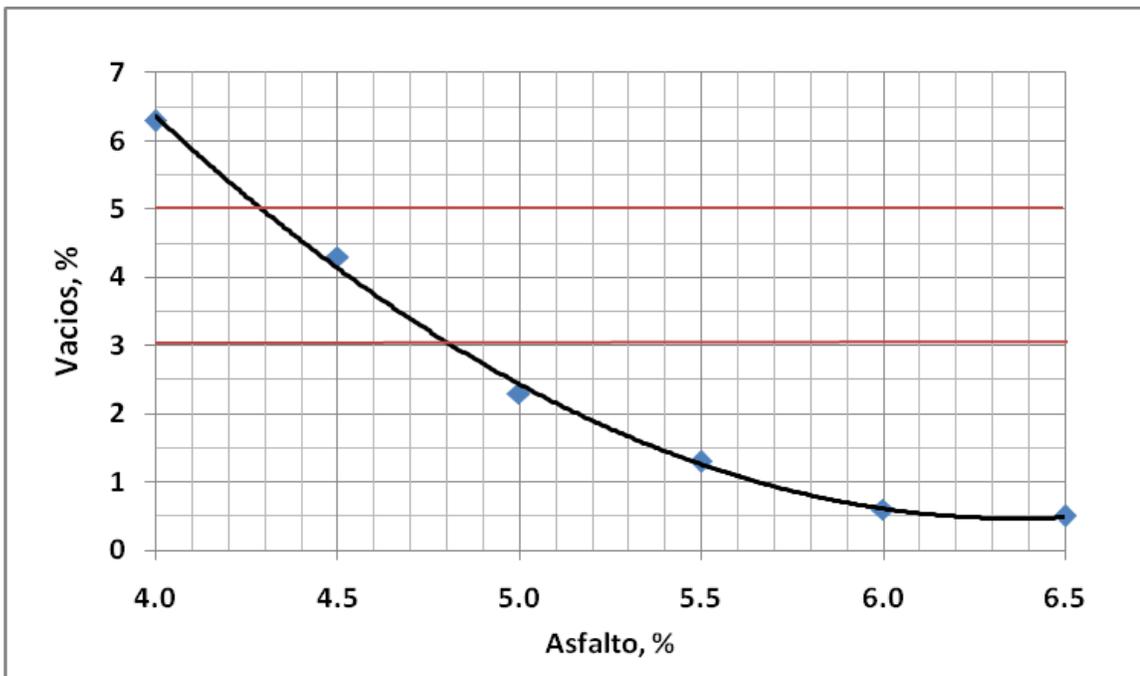
**4.3.1. A Gráfica % asfalto contra, densidad (basalto)**



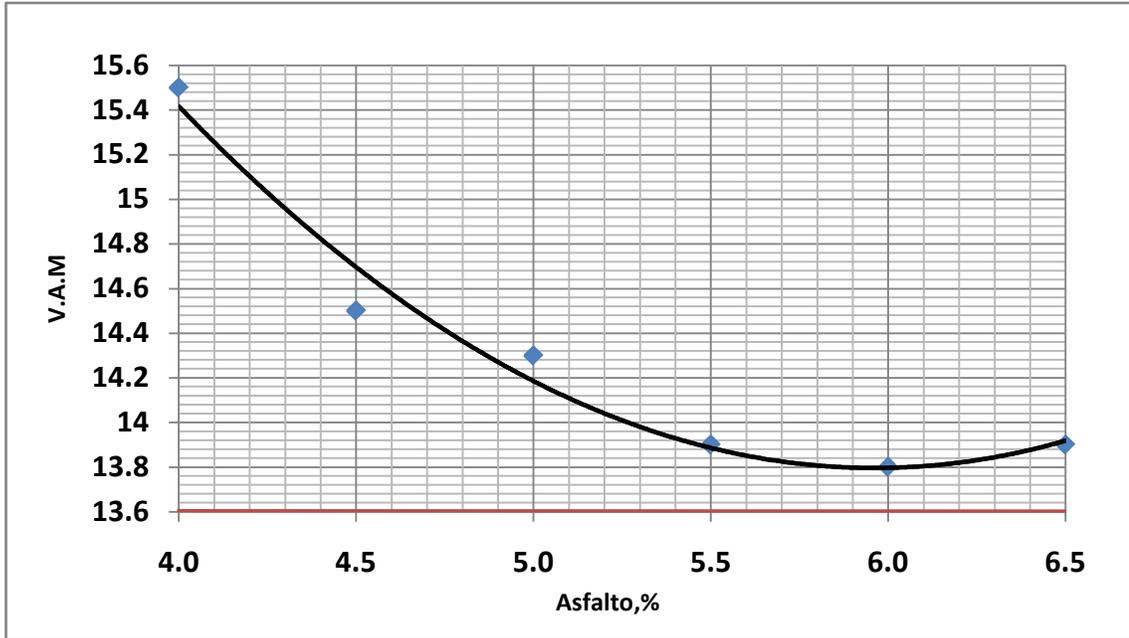
#### 4.3.2 Gráfica % asfalto contra, % de vacíos (calizo)



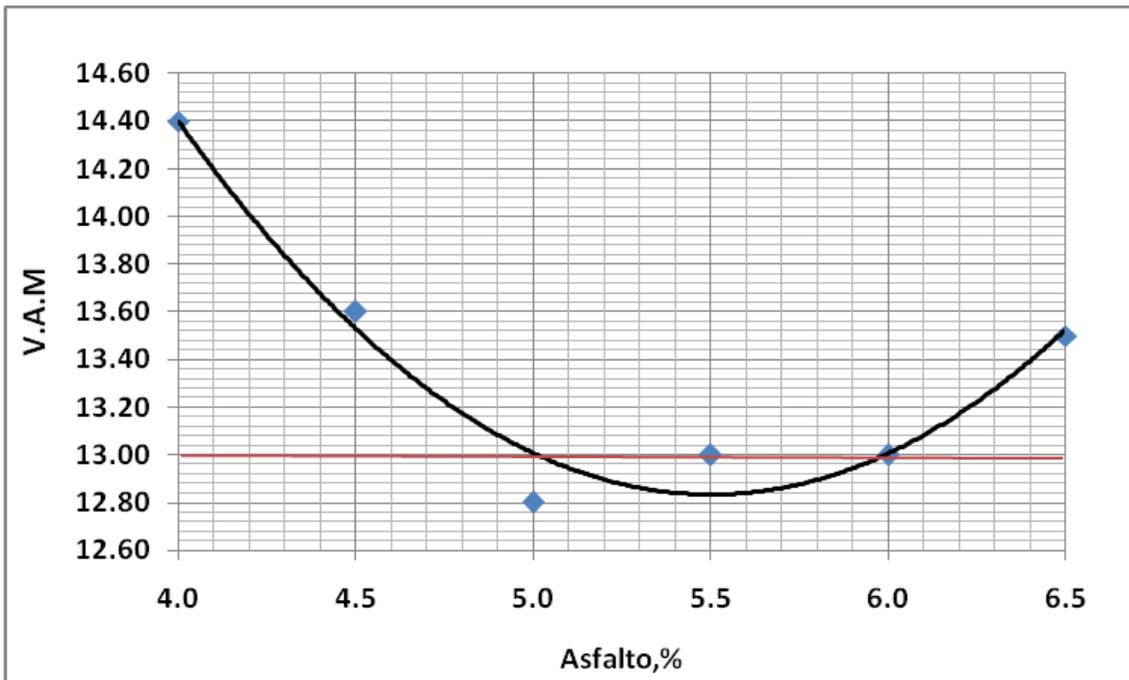
#### 4.3.2. A Gráfica % asfalto contra, % de vacíos (basalto)



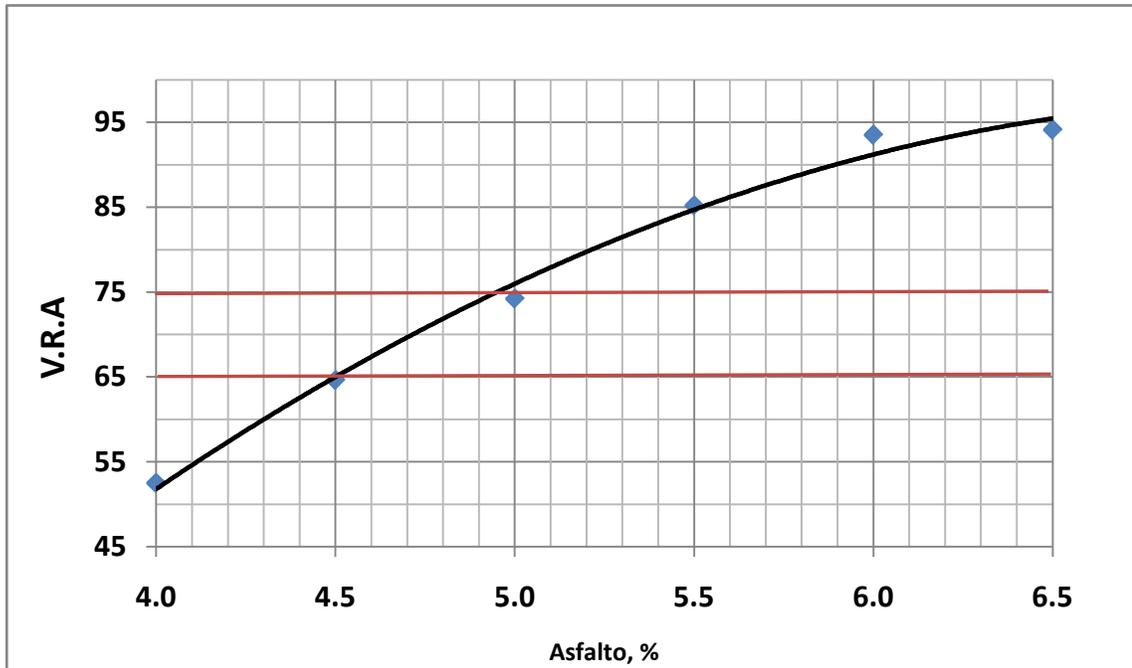
### 4.3.3 Gráfica % asfalto contra, % VAM (calizo)



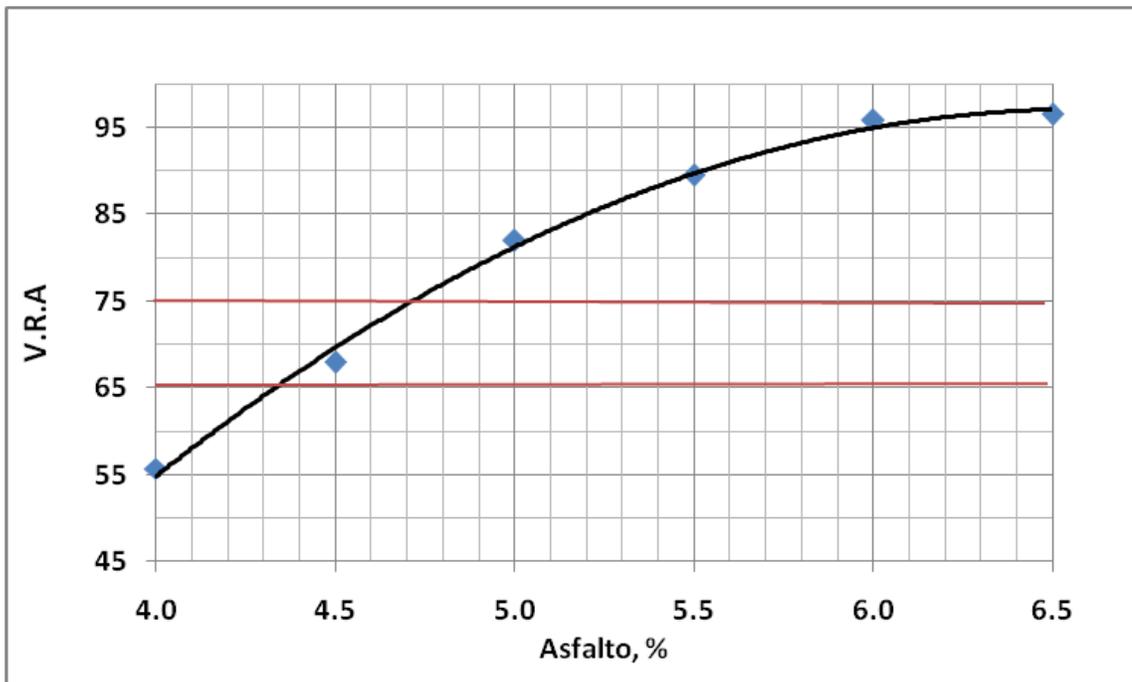
### 4.3.3. A Gráfica % asfalto contra, % VAM (basalto)



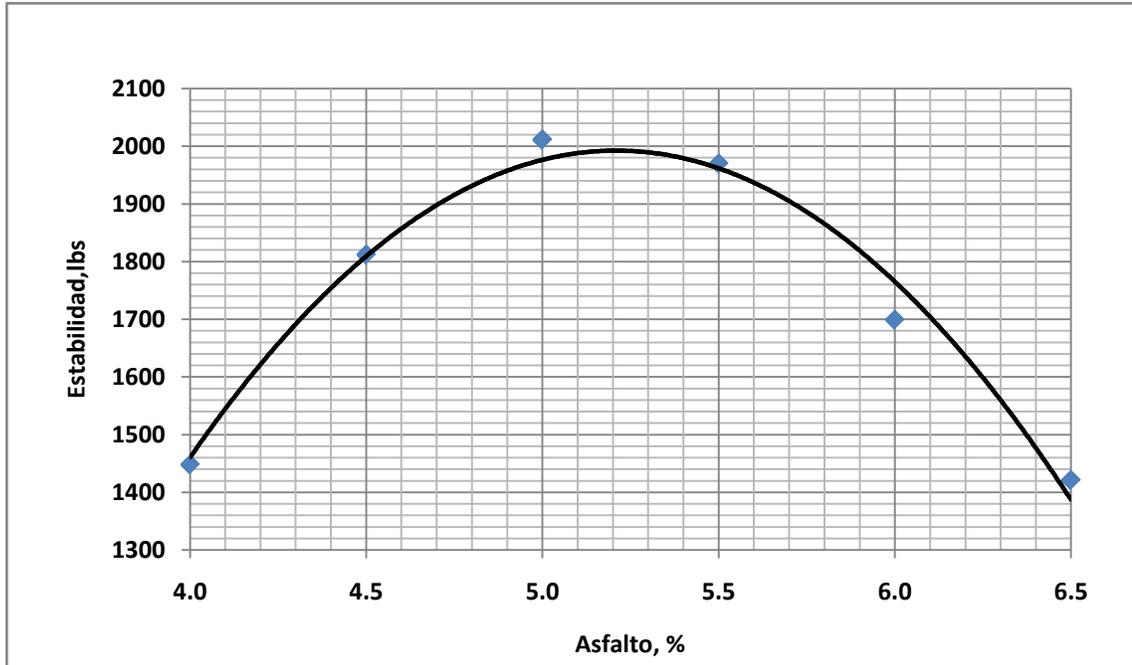
#### 4.3.4 Gráfica % asfalto contra, % VRA (calizo)



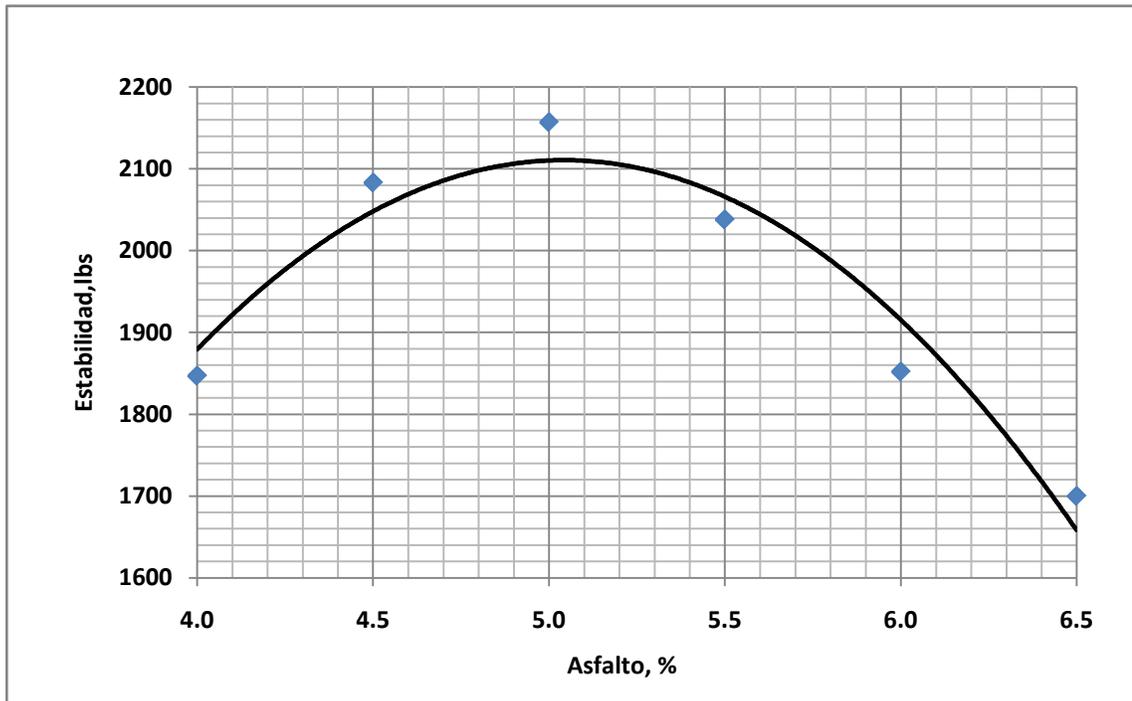
#### 4.3.4. A Gráfica % asfalto contra, % VRA (basalto)



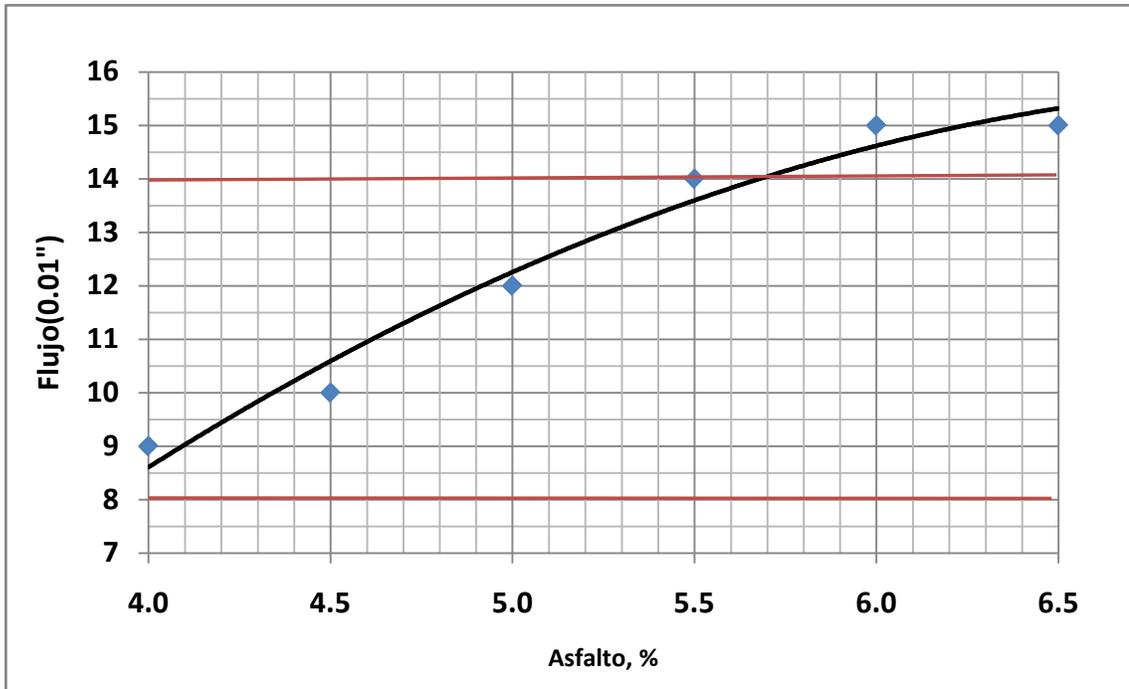
#### 4.3.5 Gráfica % asfalto contra, estabilidad (calizo)



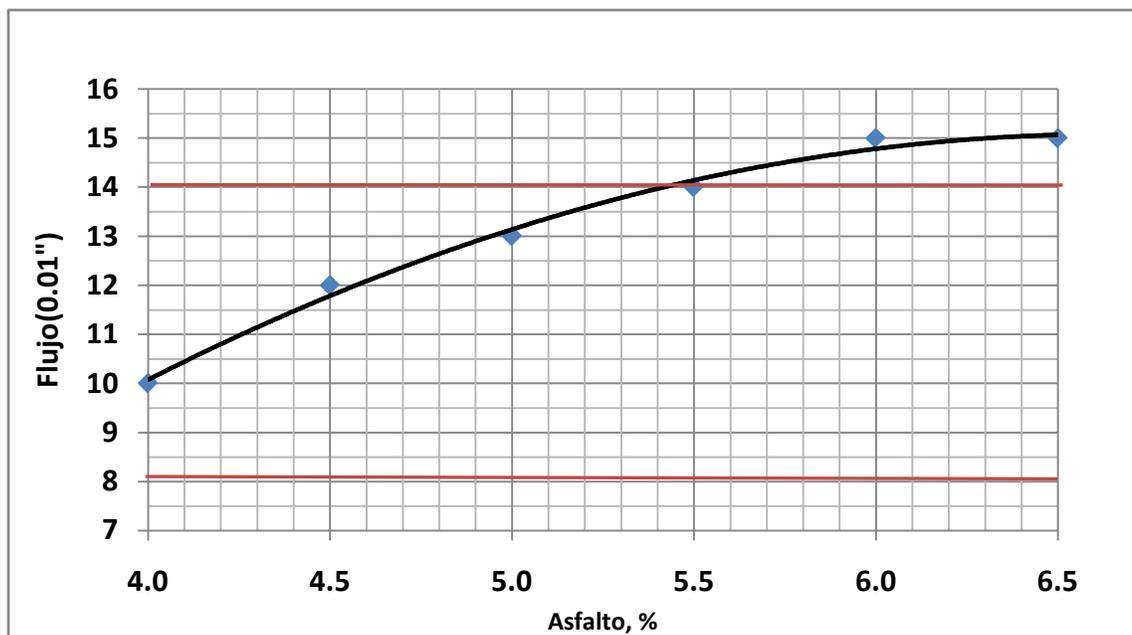
#### 4.3.5. A Gráfica % asfalto contra, estabilidad (basalto)



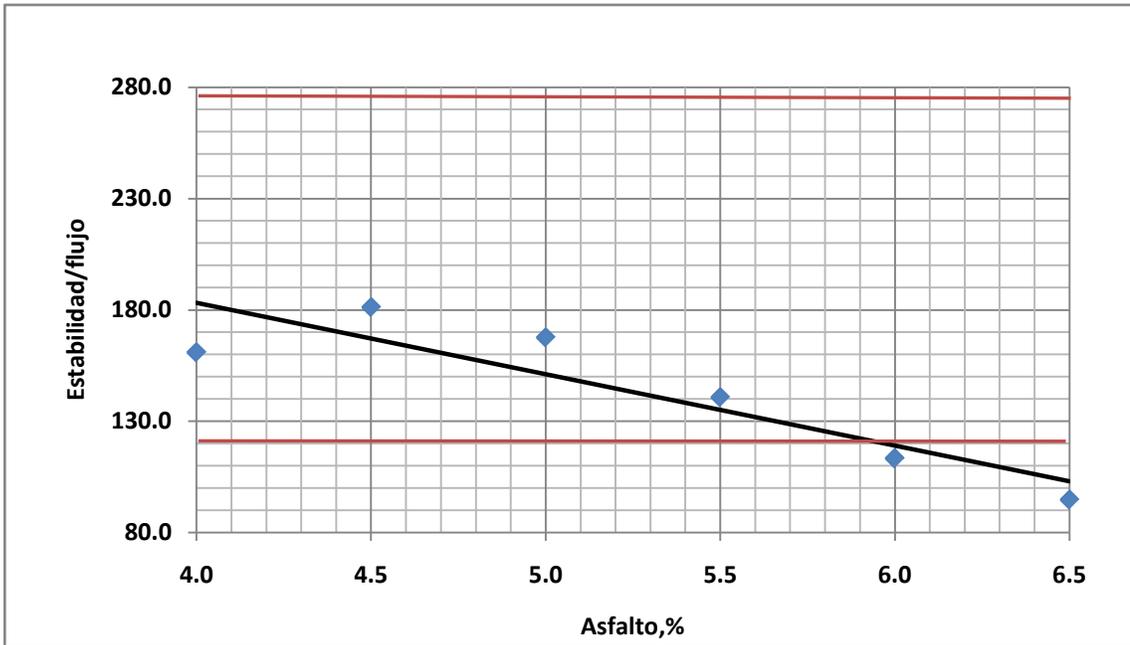
#### 4.3.6 Gráfica % asfalto contra, flujo (0.01") (calizo)



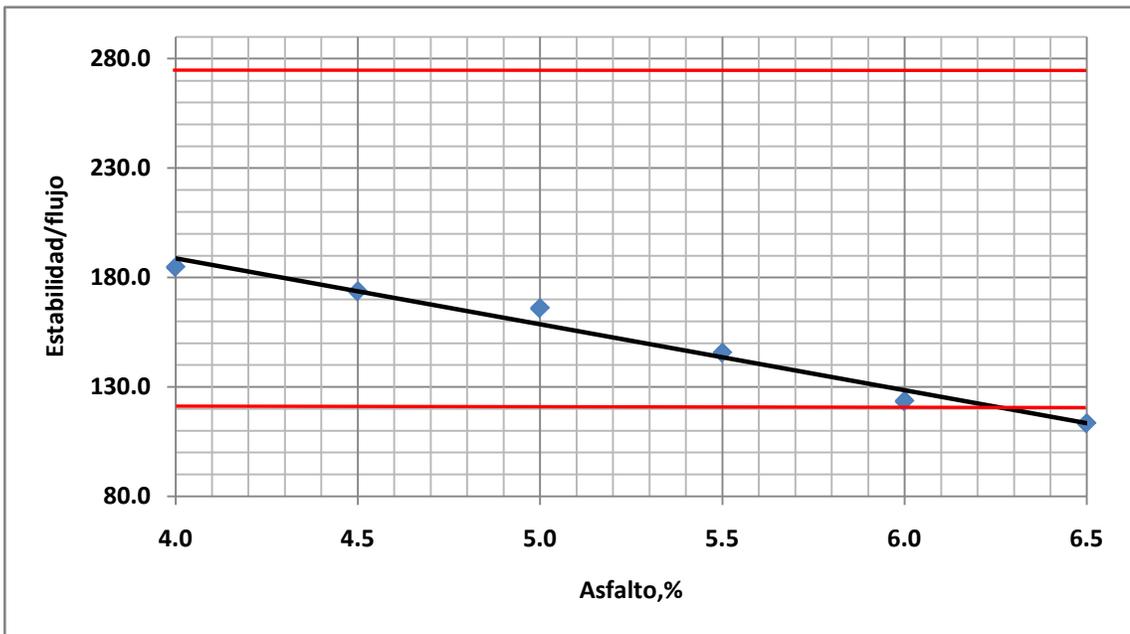
#### 4.3.6. A Gráfica % asfalto contra, flujo (0.01") (basalto)



#### 4.3.7 Gráfica % asfalto contra, estabilidad/flujo (0.01") (calizo)



#### 4.3.7. A Gráfica % asfalto contra, estabilidad/flujo (0.01") (basalto)



#### 4.3.8 Cálculo de características volumétricas de mezcla asfáltica en caliente método Marshall.

<b>Gmb =</b>	Gravedad específica bruta de briqueta
<b>Gsb =</b>	Gravedad específica bruta de agregado (integrada)
<b>Gse =</b>	Gravedad específica efectiva de agregado (integrada)
<b>Gsa =</b>	Gravedad específica aparente de agregado (integrada)
<b>Gb =</b>	Gravedad específica de cemento asfáltico
<b>Cb =</b>	Porcentaje de cemento asfáltico (Contenido de Asfalto)
<b>Cs =</b>	Porcentaje de agregado

SÍMBOLO	ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
<b>pb</b>	$Cb/100 \cdot Gmb$	<b>peso de asfalto</b>
<b>ps</b>	$Cs/100 \cdot Gmb$	<b>peso de agregado</b>
<b>Vb total</b>	$Pb/Gb$	<b>volumen de asfalto total</b>
<b>Vsb</b>	$Ps/Gsb$	<b>volumen bruto de agregado</b>
<b>Vse</b>	$Ps/Gse$	<b>volumen efectivo de agregado</b>
<b>Vba</b>	$Vsb - Vse$	<b>volumen de asfalto absorbido</b>
<b>Vbe</b>	$Vb \text{ total} - Vba$	<b>volumen de asfalto efectivo</b>
<b>Va</b>	$1 - (Vbe + Vsb)$	<b>volumen de vacios de aire</b>
<b>VAM</b>	$Va + Vbe$	<b>volumen de vacios de agregado mineral</b>
<b>Pbe</b>	$Vbe \cdot Gb$	<b>peso asfalto efectivo</b>
<b>Pba</b>	$Vba \cdot Gb$	<b>peso asfalto absorbido</b>
<b>Cbe</b>	$(Pbe/Gmb) \cdot 100$	<b>contenido asfalto efectivo</b>
<b>Cba</b>	$(Pba/ps) \cdot 100$	<b>contenido asfalto absorbido</b>
<b>VFA</b>	$(Vbe/VAM) \cdot 100$	<b>vacios rellenos de asfalto</b>
<b>Gmm</b>	$(Gmb / (Vbe + Vsb))$	<b>Gravedad especifica teórica máxima de la mezcla</b>
<b>% VAM</b>	$100 - ((Gmb \cdot Cs) / Gsb)$	<b>% vacios agregado mineral</b>
<b>Pba</b>	$Gb \cdot 100 \cdot ((Gse - Gsb) / (Gse \cdot Gsb))$	<b>peso asfalto absorbido</b>
<b>cbe</b>	$Cb - Pba$	<b>asfalto efectivo</b>

Fuente: Laboratorio de asfaltos.

Los cálculos anteriores son hechos para cada porcentaje de cemento asfáltico, así un diseño que se inicia con 4.0% de AC y termine en 6.5% de AC, deberá llevar un cálculo igual a la tabla anterior por cada porcentaje de cemento asfáltico, para los siguientes valores: 4%,4.5%,5.0%,5.5%,6.0%,6.5%.

## **5. CARACTERÍSTICAS Y RESULTADOS**

### **5.1 De la mezcla, resultados obtenidos, resultados de las especificaciones**

Después de haber realizado el diseño de mezcla asfáltica hecha con agregado pétreo de origen calizo y de haber hecho la mezcla asfáltica con agregado pétreo de origen basáltico, hemos notado que el agregado de origen basáltico tiene mayor afinidad con el cemento asfáltico y como consecuencia de esto las mezclas de concreto asfáltico requieren una menor cantidad de porcentaje de cemento asfáltico para que sus partículas queden perfectamente cubiertas y también con bajo porcentaje de cemento asfáltico se logra obtener las características necesarias que regulan las especificaciones como por ejemplo: VMA, VRA, % VACÍOS, y al obtener estos se encuentran dentro de las especificaciones.

Hemos encontrado que el agregado pétreo de origen calizo también tiene afinidad con el cemento asfáltico, pero es menor en un 20% comparado con la afinidad del agregado pétreo de origen basáltico, sucediendo esto porque la textura superficial, la porosidad y el contenido de calcio en el agregado de origen calizo interfiere en la afinidad con el cemento asfáltico. También hemos podido observar en los diseños hechos, que la experiencia dictamina que no se deben producir mezclas con materiales ya sean estos calizos, basálticos y otros cuyo tamaño cae directamente sobre la línea de densidad máxima ya que frecuentemente no queda suficiente espacio en la mezcla para el asfalto líquido, y se produce un material tipo plástico.

Otro problema se produce cuando el diseño de la mezcla acerca su densidad a la línea de densidad máxima. Las variaciones en la granulometría de la mezcla de la pila del material hacen que la curva oscile hacia ambos lados de la línea de densidad máxima, causando granulometría discontinua en la mezcla. Se sugiere que el diseñador de la mezcla seleccione un grado de dos a cinco por ciento mayor que el de la curva de densidad máxima si se desea una mezcla de textura fina. Se debe seleccionar un grado de dos a cinco por ciento menor que el de la curva si se desea una textura más gruesa. Estas curvas combadas hacia arriba o hacia abajo usualmente producen una mezcla buena y tolerante.

Una mezcla cuya densidad esta justo sobre la línea de densidad máxima pocas veces contiene suficientes vacios en el agregado mineral (VAM), especialmente si el diseño contiene un porcentaje relativamente alto del material que pasa por un criba de 0.75 milímetros (tamiz numero 200); si se escoge un nivel de granulometría en una línea aproximadamente paralela a la línea de densidad máxima, se produce una mezcla de granulometría uniforme que resulta muy tolerante. Sin embargo la línea de densidad máxima debe usarse solamente como una guía para obtener una granulometría uniforme. Otros criterios, tales como los VAM, la estabilidad y otras especificaciones también deben cumplirse.

Una línea ligeramente curva da buenos resultados. Sin embargo, el posible beneficio que el diseñador intenta lograr al permitir la granulometría discontinua frecuentemente queda anulado por los problemas de segregación.

Al graficar la granulometría de una mezcla, incluir puntos de tantos tamaños de criba o tamiz como sea posible.

**Figura 32. Análisis de resultado diseño de mezcla asfáltica material calizo**

<b>Características de los agregados:</b>	<b>propuesto</b>	<b>Especificaciones (EGPCP) sección 401</b>
abrasión (los Ángeles)		
agregado grueso 3/4 a 3/8	25.9%	35% máximo
agregado grueso 3/8 a 1/4	24.3%	35% máximo
desintegración al sulfato de sodio		
agregado grueso	6.0%	12% máximo
caras fracturadas, al menos 2	100%	75% mínimo
partículas planas y/o alargadas	3.0%	8% máximo
Gsb integrada	2.660	Para diseño
Gse integrada	2.682	Para diseño
Gsa integrada	2.719	Para diseño
% absorción promedio	1.7	Dato
gradación	TIPO D	
índice plástico	N.P	4% máximo
equivalente de arena	66.2	35% mínimo
peso unitario	1486	1360 kg/m <sup>3</sup>
resistencia al desvestimiento	80	70% mínimo
material bituminoso	AC-20	AC-20
gravedad específica del asfalto	1.063	Dato
<b>Requerimiento de mezcla:</b>		
método de diseño	Marshall	Marshall
temperatura de mezclado	145-160	
temperatura de compactación	135-145	
golpes para compactación de patilla	75 por lado	75 por lado
estabilidad	2011	1200 libras mínimo
flujo en 0.01 de pulgada	12	8 a 14
<b>Porcentaje de vacíos</b>	<b>3.7</b>	3 a 5
porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	74.2	65 a 75
<b>contenido de cemento asfáltico</b>	<b>5.0</b>	
vacíos de agregado mineral	14.3	>13

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

**Figura 33. Análisis de resultado diseño de mezcla asfáltica material basáltico**

<b>Características de los agregados:</b>	<b>propuesto</b>	<b>Especificaciones (EGPCP) sección 401</b>
abrasión (los Ángeles)		
agregado grueso 3/4 a 3/8	18.0%	35% máximo
agregado grueso 3/8 a 1/4	21.8%	35% máximo
desintegración al sulfato de sodio		
agregado grueso	0.51%	12% máximo
caras fracturadas, al menos 2	100%	75% mínimo
partículas planas y/o alargadas	1.0%	8% máximo
Gsb integrada	2.634	Para diseño
Gse integrada	2.661	Para diseño
Gsa integrada	2.699	Para diseño
% absorción promedio	1.0	Dato
gradación	TIPO D	
índice plástico	N.P	4% máximo
equivalente de arena	70.3	35% mínimo
peso unitario	1541	1360 kg/m <sup>3</sup>
resistencia al desvestimiento	100	70% mínimo
material bituminoso	AC-20	AC-20
gravedad específica del asfalto	1.063	Dato
<b>Requerimiento de mezcla:</b>		
método de diseño	Marshall	Marshall
temperatura de mezclado	145-160	
temperatura de compactación	135-145	
golpes para compactación de patilla	75 por lado	75 por lado
estabilidad	2083	1200 libras mínimo
flujo en 0.01 de pulgada	12	8 a 14
<b>porcentaje de vacíos</b>	<b>4.3</b>	3 a 5
porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	67.9	65 a 75
<b>contenido de cemento asfáltico</b>	<b>4.5</b>	
vacíos de agregado mineral	13.6	>13

Fuente: Datos en base a ensayos realizados.

El suceso que ocurre en el diseño de mezclas asfálticas, cuando se usa material calizo y basáltico es que en la etapa de mezclado se presenta un lento recubrimiento de las partículas calizas no así de las partículas basálticas, ya que estas se recubren mejor y más rápido, sucediendo esto básicamente por la textura superficial y la composición mineralógica de la caliza compuesta en este caso de carbonato de calcio y magnesio, que afectan el recubrimiento.

Se hace la aclaración que los dos materiales son de buena calidad, y que el estudio reflejo más que todo, la afinidad del asfalto con los agregados, como se sabe los agregados calizos, dolomíticos y basálticos tienen una alta afinidad con el asfalto. Pero se evidencio que la afinidad del basalto con el cemento asfáltico es más alta que la afinidad del calizo con el cemento asfáltico.

El análisis de esta situación, es que en la etapa de mezclado de los agregados y el cemento asfáltico, el agregado calizo requerirá mayor tiempo en su mezclado para lograr las propiedades deseadas en cuanto a calidad y recubrimiento total de las partículas.

La temperatura de mezclado para el agregado calizo también será afectada por esta situación ya que se deberá proporcionar una temperatura adecuada al cemento asfáltico para que este logre cubrir todas las partículas de agregado a su totalidad.

En los diseños realizados se comprobó que el agregado basáltico requiere una menor cantidad de cemento asfáltico para lograr cubrir perfectamente las partículas de agregado sucediendo esto principalmente por su textura superficial y su composición mineralógica, compuesta en este caso de sílice y minerales máficos, plagioclasas, olivinos, piroxenos, anfíboles y óxido de hierro que son más afines con el asfalto.

Los agregado calizos usados en este trabajo son procedentes de la Agregua planta zona 6, y los agregado basálticos son procedentes de Agregua planta Palín Oeste, que son representativos de materiales calizos y basálticos de Guatemala.

## **6. CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE**

### **6.1 Laboratorio, control de calidad**

Es de suma importancia que a las mezclas asfálticas se les haga un control de calidad esto con el fin de que se supervise que la mezcla que se diseño y que se dosifico en la planta sea la misma que se está colocando en la carpeta asfáltica, y cumpla con todos los requisitos pertinentes, con el fin de que se coloque una mezcla de alta calidad que contribuya al eficaz funcionamiento del pavimento en cuestión.

Los ingenieros, supervisores y personal técnico capacitado, deben hacer inspecciones visuales frecuentes a la mezcla a medida que esta es descargada de la planta al camión, y a medida que sale de la planta hacia el lugar de pavimentación. Muchos problemas graves en la mezcla pueden ser detectados mediante una inspección visual.

El control de la temperatura es siempre importante en todas las fases de producción de mezcla asfáltica en caliente. Una inspección visual puede detectar, con frecuencia, si la temperatura de una carga de mezcla se encuentra o no dentro del margen correcto. El humo azul que se levanta de una camionada de mezcla es frecuentemente, indicación de un sobrecalentamiento. Si la temperatura de la mezcla está demasiado baja, la mezcla puede parecer inactiva a medida que se deposita en el camión y puede mostrar una distribución no uniforme de asfalto.

Un pico muy alto en la carga del camión también puede indicar una falta de calentamiento.

Un pico demasiado alto en la carga también puede ser indicación de que el contenido de asfalto en la mezcla es muy bajo. Por otro lado, si la mezcla se asienta (no forma un pico correcto) en el camión, puede ser que tenga demasiado asfalto o demasiada humedad.

Hay muchas causas comunes de la falta de uniformidad en la mezcla. Aunque las inspecciones visuales son importantes, ellas no son suficientes. El ingeniero, supervisor o técnico especialista, también debe tomar mediciones. La medición más común es la de la temperatura de la mezcla. Normalmente la temperatura de la mezcla de concreto asfáltico es tomada en el camión. El inspector siempre deberá hacer saber al conductor del camión lo que está haciendo para que el camión permanezca quieto durante la inspección de la mezcla.

La mejor manera de determinar la temperatura de la mezcla es con un termómetro de cuadrante y vástago acorazado. El vástago deberá ser metido lo suficiente (al menos 150mm. (6")) dentro de la mezcla, y el material deberá estar en contacto directo con el vástago. Un medidor térmico infrarrojo, tipo pistola, también puede ser usado. Este es un instrumento que mide el calor de reflexión de la superficie. Debido a que este instrumento solo detecta el calor de la superficie, sus lecturas de temperatura pueden no ser precisas para el material que está en medio de la carga, para solucionar este problema, el inspector deberá disparar el instrumento hacia la corriente de mezcla a medida que esta sale de la compuerta de descarga del mezclador o el depósito de compensación.

Los medidores térmicos infrarrojos suministran lecturas generales rápidas, pero deben usarse con extremo cuidado al determinar la conformidad del contrato.

## **MUESTREO Y PRUEBAS DE MEZCLA EN CALIENTE**

El muestreo y las pruebas de mezcla en caliente son las dos funciones más importantes en el control de planta. Los datos que surgen del muestreo y las pruebas determinan si el producto final cumple o no con las especificaciones. Por esta razón, los procedimientos de muestreo y de pruebas deben seguirse al pie de la letra para garantizar que los resultados provean un verdadero cuadro de las características y cualidades de la mezcla.

En muchas ocasiones, el inspector debe muestrear y ensayar material. En otras ocasiones puede que solo sea responsable por muestrear el material. Prescindiendo de sus responsabilidades en un proyecto específico. Un inspector competente debe ser capaz de obtener muestras representativas, ejecutar ensayos de campo en laboratorio, e interpretar los resultados de la pruebas. Sin estas habilidades el inspector, ingeniero o técnico será incapaz de determinar exactamente si la mezcla de pavimentación cumple o no con criterios de la obra.

El programa de procedimientos de muestreo y de prueba es normalmente especificado por la agencia contratante. El programa incluye información sobre la frecuencia, el tamaño, y la localización del muestreo, así como las pruebas que deben llevarse a cabo.

La consideración mas importante en el muestreo es la de estar seguro de que la muestra tomada es representativa de la carga total de muestra de donde la muestra es extraída.

Los procedimientos para tomar muestras, marcar recipientes de muestras y prevenir contaminación de muestras serán descritos en este capítulo.

Además de ensayar la temperatura de la mezcla en caliente, existen un número de pruebas de control de calidad, usadas para determinar si la mezcla en caliente cumple o no con las especificaciones de la obra, estas incluyen:

- 1. Prueba de extracción**
- 2. Prueba de análisis granulométrico**
- 3. Análisis de estabilidad Marshall y densidad.**

#### **6.1.1 Prueba de extracción (AASHTO T- 168)**

La prueba de extracción mide el contenido de asfalto efectivo (bitumen) y proporciona agregado para el análisis granulométrico. Es la revisión final de todas las operaciones individuales que han hecho parte de la producción de la mezcla, y puede ser de gran ayuda en la evaluación de la calidad de la mezcla.

Cuando el ensayo muestre variaciones repetidas en las extracciones y graduaciones, se deberá efectuar una inspección cuidadosa de los alimentadores en frío, de la cubierta de la criba, de las paletas, y de la barra rociadora de asfalto. Adicionalmente los tiempos de mezclado y de proporcionamiento deberán ser revisados.

#### **PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:**

- A. Se muestrea de la parte superior del camión que transporta la mezcla asfáltica en una cubeta de metal, una cantidad mínima de 10 kilogramos de mezcla asfáltica caliente suelta (esta servirá para la extracción, granulometría y briquetas o pastillas para estabilidad y densidad).
- B. Ya con la mezcla asfáltica en el laboratorio , se procede a realizar un cuarteo en caliente, y esto no es más que, colocar la mezcla caliente sobre una superficie limpia y luego con una barra de metal(cuarteadora) dividirla en cuatro partes iguales, una vez hecho esto, devolver a la cubeta dos partes opuestas, y las otras dos partes opuestas del cuarteo se unen y se mezclan , y se vuelve a cuartear(dividir en cuatro) el material, y así sucesivamente hasta que podamos unir dos partes opuestas del cuarteo y tener entre 600 y 800 gr de mezcla asfáltica.
- C. Ya con los 600 gr. De mezcla procedemos a tomar y apuntar su peso, recordemos que ese peso es de la mezcla caliente, también apuntamos el peso del papel filtro que vamos a utilizar.

- D. Los 600 gr, los colocamos dentro de la (máquina centrífuga) que es la máquina que sirve para realizar este ensayo, junto con 400 ml de gasolina, revolvemos suavemente con una espátula especial, ponemos un papel filtro especial, cerramos debidamente la máquina, y la accionamos, esperamos de 4 a 8 minutos hasta que veamos que por el tubo que saca la gasolina de la máquina, ya no esté saliendo ni una gota, en este tiempo también observamos el color de la gasolina, para ver que tan limpia sale, ya que entre más limpia salga, es que se está extrayendo el asfalto, repetimos este proceso las veces que sea necesario, hasta que la gasolina que sale por el tubo salga totalmente limpia, esto puede que lleve el realizar este ciclo, de 5 a 7 veces, es importante aclarar que cada vez que se termine un ciclo de lavado hay que destapar la máquina y limpiar los bordes interiores de la máquina con el propósito de que los finos de la mezcla no se desperdicien y sean tomados en cuenta.
- E. hecho esto se saca cuidadosamente el material de la máquina centrífuga y se deja secar al horno, durante 24 horas a 110 °C, también colocamos un mínimo tiempo el filtro al horno.
- F. Una vez hecho el inciso E, apuntamos el peso de la muestra de material y el de el papel filtro. Y procedemos a realizar los cálculos correspondientes.

### **Cálculos de extracción del porcentaje de asfalto efectivo (% bitumen)**

Datos:

Peso bruto muestra (Pbm):	<b>700</b>
Tara:	<b>100</b>
Peso neto muestra (Pnm):	<b>600</b>
Peso filtro (1):	<b>20</b>
Peso filtro (2) después:	<b>22</b>
Total (filtro (1) + tara):	<b>120</b>
Peso bruto extracción (Pbe):	<b>670</b>
Peso neto extracción (Pne):	<b>570</b>
Diferencia = (Pnm – Pne+ (filtro2 - filtro1)):	<b>30 + 2</b>

$$.\% \text{ ASF efectivo} = \frac{Pnm - Pn\text{e} + \text{dif filtro}}{Pnm} * 100$$

**Cálculo de los valores presentados en los datos:**

$$\% \text{ ASF efectivo} = \frac{32}{600} * 100 = 5.3$$

### **6.1.2 Prueba de análisis granulométrico (AASHTO T11-T27, T- 37)**

Un análisis granulométrico deberá efectuarse sobre el agregado extraído para revisar la graduación de las especificaciones (diseño de mezcla), este ensayo consiste en verificar la composición granulométrica, (tamaños de las partículas y sus proporciones) dentro de la muestra tomada.

#### **PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:**

- A. luego de haber hecho la extracción, usamos ese mismo material para el análisis granulométrico, se asume que ya se lavo con la gasolina.
- B. Anotamos el peso seco de la muestra
- C. Usamos los tamices del instituto de asfalto para graduación, los más comunes son, 1 ½, 1, ¾, ½, 3/8, No 4, No 8, No 50, No 200.
- D. Introducimos el material en la serie de tamices, una vez hechos esto colocamos la batería de tamices debidamente tapada en la tamizadora, y dejamos tamizar durante un periodo de 10 a 12 minutos.
- E. Luego sacamos la batería de tamices de la tamizadora y pesamos el material retenido en cada tamiz desde el más grande hasta el más fino, pudiéndolo hacer de forma individual o acumulada.
- F. En base a los pesos obtenidos en el inciso E, procedemos a realizar los cálculos correspondientes.

**Cálculos de análisis granulométrico (granulometría).** Los cálculos correspondientes son análogos al cálculo de una granulometría, descrita en el capítulo 3.

### **6.1.3 Análisis de estabilidad Marshall y densidad de pastilla. (AASHTO T-209, T-245, T-246 y T-247)**

Las determinaciones de densidades en el pavimento terminado, son necesarias para garantizar una correcta compactación de la mezcla. Estos ensayos se efectúan sobre muestras suministradas por el inspector de pavimentación. Comúnmente las especificaciones requieren que el pavimento se compacte hasta un porcentaje mínimo de la densidad máxima teórica o de la densidad obtenida mediante compactación de laboratorio (>96%). Cuando se usa la densidad máxima teórica, el inspector de planta debe obtener, del laboratorio central, las gravedades específicas de los componentes de la mezcla para poder calcular la densidad teórica.

Cuando se usa la densidad obtenida mediante la compactación de briquetas de laboratorio, las briquetas deben ser compactadas y sus densidades medidas de acuerdo al método designado por la agencia contratante, se sugiere que el % de compactación no sea menor al 96%.

Se debe verificar que la estabilidad de la mezcla, medida por medio de probetas que se compactan en el laboratorio, de la mezcla extraída del camión preferiblemente o de la asphaltadora, sea la mínima de las especificaciones, de estas mismas pastillas se saca la densidad de pastilla o briqueeta. Siempre se deben tomar muestra representativas de mezcla en caliente en la planta mezcladora y ensayarlas para verificar las propiedades del diseño.

## PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Cuando se muestrea mezcla asfáltica en caliente antes de ser colocada.

- A. Del material que se devolvió a la cubeta metálica en la realización del cuarteo para el ensayo de extracción, realizaremos 3 pastillas como mínimo para verificar la estabilidad y densidad de la mezcla usaremos entre 1100 grs. y 1200 grs. Para cada pastilla.
- B. En una palangana debidamente tarada e identificada, colocamos 1100 gr, de mezcla asfáltica caliente y la metemos al horno con el propósito de que alcance una temperatura mínima de 140 °C.
- C. Una vez haya alcanzado los 140°C la introducimos cuidadosamente dentro del molde especial Marshall debidamente aceitados, apisonamos con una varilla o un formón de no más de 1.5 cts. de espesor con el fin de acomodar las partículas.
- D. Luego, dependiendo si es una mezcla que se utilizara para un pavimento con tráfico pesado, daremos 75 golpes por lado con el mazo de compactación Marshall.
- E. Después de transcurridos 25 minutos procedemos a sacarla del molde, y dejamos que se enfríe a temperatura ambiente, durante 24 horas.
- F. Una vez las patillas estén frías, podemos encontrar su densidad.
- G. Luego de encontrar la densidad de pastilla Gmb, procedemos a colocar la pastilla en baño maría a una temperatura de 60°C o 140°F, durante 40 minutos.
- H. Sacamos la pastilla del baño maría la secamos, colocamos en abrazaderas y ensayamos en la máquina de Marshall. Con el objetivo de encontrar su estabilidad y fluencia.

Cuando se muestrea mezcla asfáltica en caliente ya colocada y compactada.

**PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:**

- A. Con la extractora de núcleos, procedemos a sacar dos núcleos como mínimo por cada 250 metros de pavimento terminado, dicho núcleo, servirá para medir el espesor final de la carpeta de pavimento asfáltico, así como para realizar, las pruebas de densidad y estabilidad Marshall.
- B. Ya con las muestras en el laboratorio, sacamos densidad del núcleo extraído, y apuntamos esos datos, que posteriormente servirán.
- C. Después procedemos a calentar el núcleo a una temperatura mínima de 150° C, con el objetivo de deshacer el núcleo, de su estado semisólido a un estado blando.
- D. En una palangana debidamente tarada e identificada, colocamos 1100 gr, de mezcla asfáltica caliente y la metemos al horno con el propósito de que alcance una temperatura mínima de 140 °C.
- E. Una vez haya alcanzado los 140°C la introducimos cuidadosamente dentro del molde especial Marshall debidamente aceitados, apisonamos con una varilla o un formón de no más de 1.5 cts. de espesor con el fin de acomodar las partículas.
- F. Luego, dependiendo si es una mezcla que se utilizara para un pavimento con tráfico pesado, daremos 75 golpes por lado con el mazo de compactación.
- G. Después de transcurridos 25 minutos procedemos a sacarla del molde, y dejamos que se enfríe a temperatura ambiente, durante 24 horas.
- H. Una vez las patillas estén frías, podemos encontrar su densidad.

- I. Luego de encontrar la densidad de pastilla Gmb, procedemos a colocar la pastilla en baño maría a una temperatura de 60°C o 140°F, durante 45 minutos.
- J. Sacamos la pastilla del baño maría la secamos, colocamos en abrazaderas y ensayamos en la máquina de Marshall. Con el objetivo de encontrar su estabilidad y fluencia.

#### **6.1.4 Registros de control de calidad**

El ingeniero, supervisor o técnico encargado, debe mantener registros adecuados. Los registros suministran la base sobre la cual se determina la conformidad con las especificaciones y sobre la cual se efectúan los pagos, estos deben, por lo tanto, ser claros, completos y exactos. Los registros también proveen una historia de la construcción y de los materiales que fueron usados en el proyecto. Como tal los registros suministran una base para todos los estudios y las evaluaciones futuras del proyecto. Para ser validos, los registros y reportes deben de ser completados en el momento que se hace un ensayo o se toma una medida, y deben mantenerse al día, se debe de llevar un diario para cada proyecto. La partida inicial del diario deberá registrar información básica: el numero del proyecto, la localización de la planta, el tipo y marca de la planta, la fuente de los materiales, los nombres del personal clave, y otros datos pertinentes. Cualquier cambio en la información deberá registrarse tan pronto ocurra. Además de fechas y comentarios rutinarios del tiempo, el diario deberá de incluir una narrativa describiendo las principales actividades en planta y en las operaciones del día. Los eventos inusuales deberán anotarse, particularmente aquellos que puedan tener un efecto desfavorable en la mezcla de pavimentación.

También se deberá mantener un reporte diario resumiendo las actividades de la planta. En el encabezamiento de este formulario se deberá registrar la misma información de que aparece en el diario. El formulario deberá tener un resultado de los resultados de los ensayos ejecutados en el día, y una tabulación de las cantidades de materiales recibidas y usadas.

Se deberá hacer además un registro de los sitios o estaciones donde la mezcla asfáltica es colocada en la calzada; con referencia a la vía de tráfico, la capa, y la estación. Esta información se obtiene de los reportes escritos en el lugar de pavimentación. Se recomienda que todos los procesos de control de calidad sean referidos de las **normas ISO** referentes a control de calidad y control de calidad de laboratorios.



## CONCLUSIONES

1. En el diseño de mezclas asfálticas en caliente se determinó que el comportamiento de ambos es distinto, pues cuando se integra agregado y cemento asfáltico para conformar mezclas asfálticas en caliente, el agregado de origen calizo y el agregado de origen basáltico se comportan de diferente manera, se pudo observar que el agregado basáltico tiene una alta afinidad con el cemento asfáltico sucediendo esto básicamente por la textura superficial relativamente áspera que posee y su composición mineralógica con alto contenido de sílice que facilita que el cemento asfáltico se adhiera a las partículas y queden perfectamente cubiertas, siendo su afinidad al asfalto un 20 % mayor que la del calizo.
2. Los estudios realizados a los dos tipos de materiales, dan a conocer que ambos son satisfactorios para realizar mezclas de acuerdo a especificaciones, y que las variaciones que se reflejan son fundamentalmente por la afinidad del cemento asfáltico con el material, por ejemplo, como el agregado calizo, su textura superficial es relativamente lisa y su composición mineralógica con alto contenido de carbonato de calcio dificultan la adherencia del cemento asfáltico a las partículas de agregado.
3. Esta diferencia de afinidad incide en los tiempos de producción, ya que el agregado calizo deberá tener más tiempo de mezclado y una temperatura adecuada para que sus partículas queden perfectamente cubiertas, podrá ser necesario en ocasiones incrementar el porcentaje de cemento asfáltico para que el diseño cumpla con las especificaciones.

4. Ambos materiales son buenos para ser usados en el diseño de mezclas asfálticas, ya que las variaciones de costos son relativamente mínimas no incidiendo directamente en los costos de producción.
5. Durante la realización de los ensayos a los agregados calizos y basálticos estos dan resultados que muestran una diferencia mínima entre sí, debido a la similitud de sus características.
6. En el diseño de mezclas asfáltica ambos materiales presentaron estabilidades similares que entran dentro de las especificaciones de la Dirección General de Caminos, sin embargo, el material basáltico presentó una mayor estabilidad por su textura más áspera.
7. El control del filler es determinante, ya que con esto se controla o se maneja la calidad de la mezcla, y con esto se garantiza que los resultados cumplan con las especificaciones.
8. La utilización de los materiales calizo y basáltico en un pavimento dependerá de la región y ubicación, ya que en ciertas condiciones el material calizo presente cierta desventaja en un pavimento.

## RECOMENDACIONES

1. Diseñar mezclas de concreto asfáltico, usando el método Marshall, con un contenido alto de vacíos, para el calizo, el basalto o cualquier otro material, con el fin de que haya espacios en la mezcla compactada donde pueda fluir el asfalto bajo el peso del tráfico, tomando en cuenta de que la mezcla debe ser lo suficientemente impermeable para no dejar pasar el agua a través de ella.
2. En las mezclas donde se use material calizo, integrar el material de tal manera que la curva granulométrica del material se incline hacia el lado grueso, ya que se desea que la superficie del pavimento sea relativamente áspera y esto es más apreciable si dicha mezcla será usada en carretera donde el terreno sea montañoso u ondulado y se presenten fuertes pendientes.
3. Será mejor que los tiempos de mezclado sean mayores en las mezclas que contengan agregados calizos, que las mezclas que contengan agregados basálticos, al igual que la temperatura, será mayor para el agregado calizo, con el fin de que sus partículas queden perfectamente cubiertas.
4. Si se facilita la utilización de un aditivo antidesvestimiento en mezclas con agregado calizo, es recomendable pero no necesario, ya que las partículas si se les da un correcto tiempo de mezclado y una manera correcta de mezclarse ya sea en el diseño en el laboratorio o en planta de producción se recubrirán.

5. La experiencia dictamina que no se deben producir mezclas con materiales cuyo tamaño cae directamente sobre la línea de densidad máxima. Frecuentemente no queda suficiente espacio en la mezcla para el asfalto líquido.
6. Se sugiere que el diseñador de la mezcla seleccione un grado, de dos a cinco por ciento mayor que el de la curva de densidad máxima si se desea una mezcla de textura fina. Se debe seleccionar un grado de dos a cinco por ciento menor que el de la curva si se desea una textura más gruesa.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1. AASHTO. American Association of State Highways and Transportation Official.** Standard Specifications for Transportation Material and Methods of Sampling and Testing, Part 1. Sixteen Editions. 1993
- 2. ASPHALT INSTITUTE. Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Asphalt Institute.** Serie de manuales No. 22 (MS-22).1992
- 3. ASPHALT INSTITUTE. Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types. Asphalt Institute.** Manual series No.2 (MS-2) 1988
- 4. ASTM. American Society for Testing and Materials.** Volumen 04.02 Concrete and aggregates.2004
- 5. ASTM. American Society for Testing and Materials.** Volumen 04.03 Road and Paving materials, vehicle-pavement system.2004
- 6. ASTEC. Segregación causas y soluciones.** Boletín técnico T-117S.J. Don Brock, James G. May, Greg Renegar.2004
- 7. DGC. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda República de Guatemala.** Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes. 2001



**ANEXOS**  
**Resultado de ensayos**

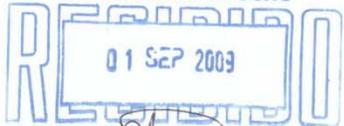


CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008649

CENTRO DE INVESTIGACIONES  
DE INGENIERIA USAC



Guatemala 1 de septiembre 2009

F)  3:37pm

Director del centro de investigaciones de ingeniería  
USAC

De la manera mas atenta me dirijo a usted deseándole éxitos en sus actividades diarias, el motivo de la presente es para solicitar a usted su amable colaboración, en la realización de ensayos de laboratorio, para el estudiante de ingeniería civil **Marco Antonio Mendoza Ixpanel**, con carné 200418348 para la realización de su trabajo de graduación titulado **“INCIDENCIA DEL ORIGEN DE LOS MATERIALES CALIZOS Y BASALTICOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO METODO MARSHALL”** del cual soy el asesor, los ensayos a realizar están descritos en la hoja adjunta.:

Estos ensayos son parte del diseño de las mezclas de concreto asfáltico.

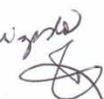
Muy agradecido por su valiosa colaboración.

Atentamente;



  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

Jefe de la sección de mecánica de suelos  
Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC

*autorizado*  




*Ingen. Tilmara Causa*  
*Directora CII*  
*02/09/2009*



Ensayo a realizarse en el laboratorio de mecánica de suelos del centro de Investigaciones de la facultad de Ingeniería

1. Granulometría individual de agregado calizo  $\frac{3}{4}$  a  $\frac{3}{8}$
2. Granulometría individual de agregado calizo  $\frac{3}{8}$  a  $\frac{1}{4}$
3. Granulometría individual de agregado calizo  $\frac{1}{4}$  a 0
4. Granulometría individual de agregado basáltico  $\frac{3}{4}$  a  $\frac{3}{8}$
5. Granulometría individual de agregado basáltico  $\frac{3}{8}$  a  $\frac{1}{4}$
6. Granulometría individual de agregado basáltico  $\frac{1}{4}$  a 0
7. Granulometría practica de mezcla de agregados calizos 30,30,40
8. Granulometría practica de mezcla de agregados basálticos 30,30,40
  
9. Gravedades especifica de agregado grueso (pasa 1 ret No 4) calizo
10. Gravedades especifica de agregado intermedio (pasa No 4 ret No 40) calizo
11. Gravedades especifica de agregado fino calizo ( pasa No 40 hasta fondo)
  
12. Gravedades especifica de agregado grueso (pasa 1 ret No 4) basáltico
13. Gravedades especifica de agregado intermedio (pasa No 4 ret No 40) basáltico
14. Gravedades especifica de agregado fino ( pasa No 40 hasta fondo)basáltico
  
15. Densidad de pastilla, estabilidad y flow 18 pastilla hechas con material calizo
16. Densidad de pastilla, estabilidad y flow 18 pastilla hechas con material basáltico
17. Equivalente de arena del material calizo
18. Equivalente de arena del material basáltico.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 009105

INFORME No. SC - 906

O.T. No. 25829

**INTERESADO:** Marco Antonio Mendoza Ixpanel, carnè No. 2004-18348

Trabajo de Graduacion "Incidencia del origen de los materiales calizos y basalticos en el diseño de mezclas metodo Marshall"

**PROYECTO:**

**Material:** Muestra de Mezcla Integrada de Concreto Asfaltico

**ASUNTO:** Ensayo de bondad en agregado grueso

**Procedencia:** Agregua Planta Zona 6

**Solución utilizada:** Sulfato de Sodio

**FECHA:** 2 de septiembre de 2009

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	-----	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	11,30	1500,00	1420,60	5,29	0,60
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	81,10	1000,00	938,30	6,17	5,00
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	5,50	300,00	282,10	5,97	0,33
	Fondo	2,10	-----	-----	5,97	0,13
TOTALES		100,00	2800,00	-----	-----	6,06

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado

ATENTAMENTE,

  
Inga. Dima Yanet Mejicanos Jo  
Jefa Sección de Concretos

SECCION DE INGENIERIA  
CONCRETOS  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, C.A.

Vo.Bo.

  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 008799**

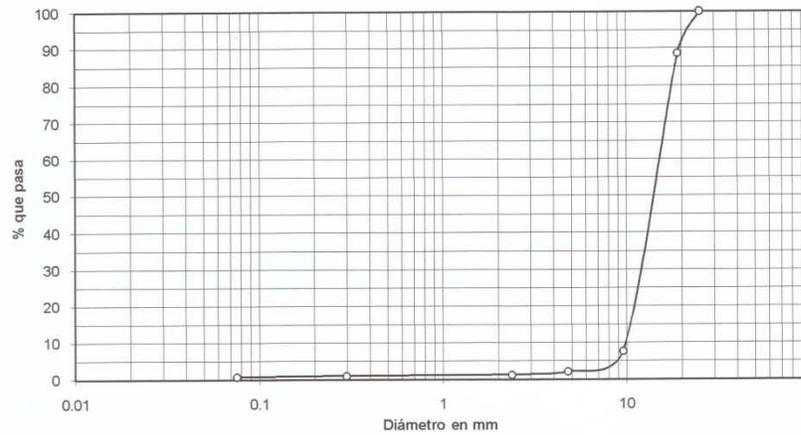
INFORME No: 380 S.S.

O.T. No. 25,937

Interesado: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
 Proyecto: Tesis " Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico metodo Marshall"  
 Procedencia: Agregua planta zona 6  
 Fecha: 10 de septiembre 2009

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1	25	100.00
3/4	19	88.70
3/8	9.5	7.60
4	4.75	2.10
8	2.36	1.30
50	0.297	1.00
200	0.075	0.8

% de Grava: 97.90  
 % de Arena: 1.30  
 % de Finos: 0.80



Descripción del material: Agregado triturado calizo 3/4 a 3/8

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.   
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC



  
  
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008800

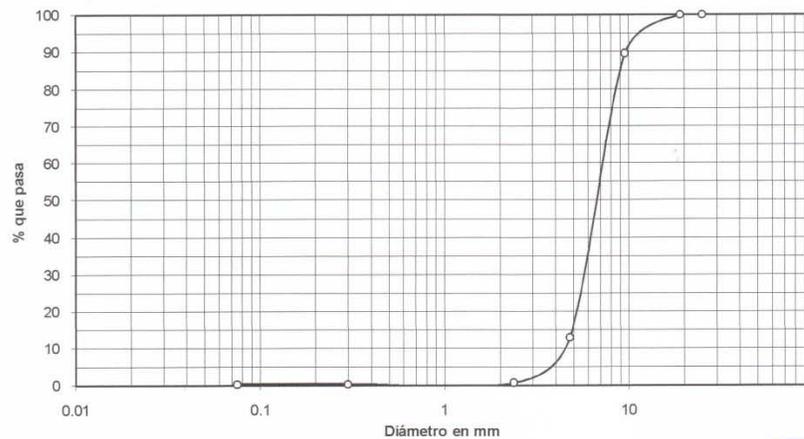
INFORME No: 381 S.S.

O.T. No. 25,937

Interesado: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
Proyecto: Tesis " Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico metodo Marshall"  
Procedencia: Agregua planta Zona 6  
Fecha: 10 de septiembre de 2009

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1	25	100.00
3/4	19	100.00
3/8	9,5	89,50
4	4,75	13,00
8	2,36	0,70
50	0,297	0,40
200	0,075	0,4

% de Grava: 10,50  
% de Arena: 89,10  
% de Finos: 0,40



Descripción del material: Agregado triturado calizo 3/8 a 1/4

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CI/USAC



Ing. Omar Enrique Medraño Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 008801**

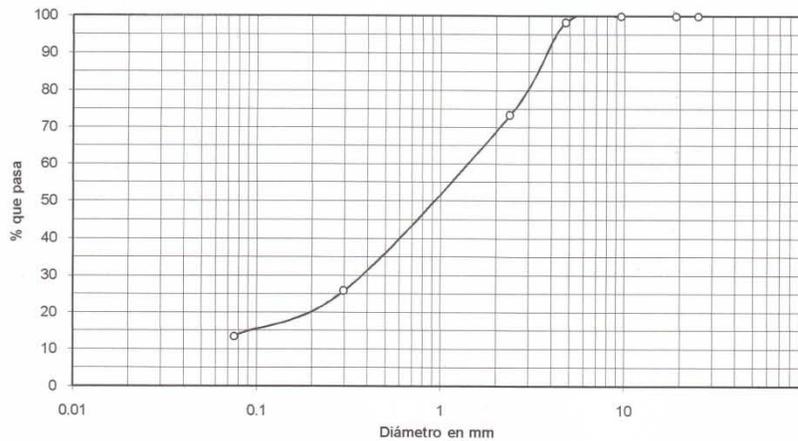
INFORME No: 382 S.S.

O.T. No. 25,937

Interesado: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
 Proyecto: Tesis " Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico metodo Marshall"  
 Procedencia: Agregua planta Zona 6  
 Fecha: 10 de septiembre 2009

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1	25	100.00
3/4	19	100.00
3/8	9.5	100.00
4	4.75	98.20
8	2.36	73.30
50	0.297	25.80
200	0.075	13.4

% de Grava: 1.80  
 % de Arena: 84.80  
 % de Finos: 13.40



Descripción del material: Agregado triturado calizo 1/4 a 0

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.   
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC



  
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 008802**

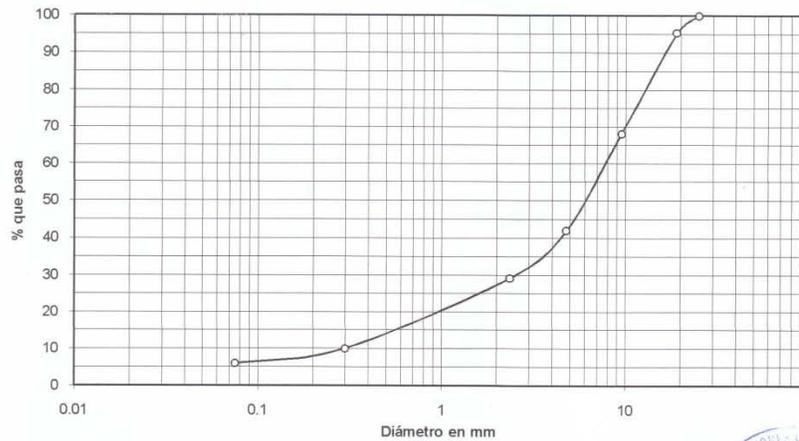
INFORME No: 383 S.S.

O.T. No. 25,937

Interesado: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
 Proyecto: Tesis " Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico metodo Marshall"  
 Procedencia: Agregua planta Zona 6  
 Fecha: 10 de septiembre 2009

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1	25	100.00
3/4	19	95.40
3/8	9.5	68.20
4	4.75	42.00
8	2.36	29.20
50	0.297	10.00
200	0.075	6.00

% de Grava: 58.00  
 % de Arena: 36.00  
 % de Finos: 6.00



Descripción del material: Granulometría practica curva tipo D calizo

Observaciones: Integracion de materiales calizos, (3/4 a 3/8),(3/8 a 1/4),(1/4 a 0)

Atentamente,

Vo. Bo.   
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC



  
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008803

INFORME No.: 384 S. S.

O.T.: 25,937

INTERESADO: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
PROYECTO: Tesis "Incidencia del origen de los materiales calizos y basalticos en el diseño de mezclas de concreto asfaltico, metodo Marshall"  
ASUNTO: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA  
Norma: A.A.S.H.T.O T-85  
PROCEDENCIA: Agregua Planta Zona 6

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Agregado calizo procedente de trituracion gruesos (pasa 3/4" retenido No.4)

FECHA: 10 de septiembre 2009

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

Descripción	1	2	3	promedio
Gsb 23°C	2.659	2.65	2.648	<b>2.652</b>
Gse 23°C	2.687	2.665	2.666	<b>2.673</b>
Gsa 23°C	2.693	2.688	2.697	<b>2.693</b>
Absorción	1	0.6	0.7	<b>0.8</b>

Gsb Gravedad especifica bruta o total  
Gse Gravedad especifica efectiva  
Gsa Gravedad especifica aparente

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Mariçela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008804

INFORME No.: 385 S. S.

O.T.: 25,937

INTERESADO: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
PROYECTO: Tesis "Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico, método marshall"  
ASUNTO: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA  
Norma: A.A.S.T.H.O T-84  
UBICACIÓN: Agregua Planta Zona 6  
Banco:  
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Agregado calizo procedente de trituración Intermedios (pasa No 4 retenido No 40)

FECHA: 10 de septiembre 2009

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

Descripción	1	2	3	promedio
Gsb 23°C	2.559	2.559	2.556	<b>2.558</b>
Gse 23°C	2.615	2.614	2.616	<b>2.615</b>
Gsa 23°C	2.711	2.708	2.720	<b>2.713</b>
Absorción	2.2	2.2	2.3	<b>2.23</b>

Gsb Gravedad específica bruta o total  
Gse Gravedad específica efectiva  
Gsa Gravedad específica aparente

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008805

INFORME No.: 386 S. S.

O.T.: 25,937

INTERESADO: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
PROYECTO: Tesis "Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico, método Marshall"  
ASUNTO: ENSAYO DE GRAVEDADE ESPECIFICA  
Norma: A.A.S.H.T.O T-84  
PROCEDENCIA: Agregua Planta Zona 6

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Agregado calizo procedente de trituración Intermedios (pasa No 4 retenido No 40)

FECHA: 10 de septiembre 2009

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

Descripción	1	2	3	promedio
Gsa 23°C	2.786	2.728	2.778	<b>2.764</b>

**Gsa** Gravedad específica aparente

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

*Omar Enrique Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008806

INFORME No.: 387 S. S.

O.T.: 25,937

INTERESADO: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
PROYECTO: Tesis: "Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico, método Marshall"  
ASUNTO: ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA  
Norma: A.A.S.T.H.O T-176  
PROCEDENCIA: Agregua planta zona 6

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Agregado calizo procedente de trituración  
mezcla de agregados de 3/4" a 0"

FECHA: 10 de septiembre 2009

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

E.A=	66.2%
------	-------

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado

Atentamente,

Vo. Bo.  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



*Omar E. Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. 388 S. S. O.T.: 25,937

Nº 008817

INTERESADO: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
 PROYECTO: Tesis "Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico método Marshall"  
 ASUNTO: ENSAYO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE.  
 Norma: Estabilidad Marshall, Flow AASHTO T-245, ASTM D-1559  
 Densidad de Mezcla comprimida AASHTO T-166  
 FECHA: 10 de septiembre de 2009  
 Muestra: 1

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

No	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad (Lbs)	Flow(0.01")
1	2.340	1,809	9
2	2.341	1,753	9
3	2.347	1,978	12
4	2.407	1,978	10
5	2.373	2,125	12
6	2.363	2,147	8
7	2.413	2,196	12
8	2.382	2,255	12
9	2.408	2,019	12
10	2.446	2,078	14
11	2.429	1,959	13
12	2.397	2,078	15
13	2.434	1,875	16
14	2.430	1,935	14
15	2.440	1,746	15
16	2.430	1,688	14
17	2.410	1,723	16
18	2.417	1,688	15

OBSERVACIONES: Resultado de briquetas del Diseño con material calizo

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



*Omar E. Medrano Mendez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008808

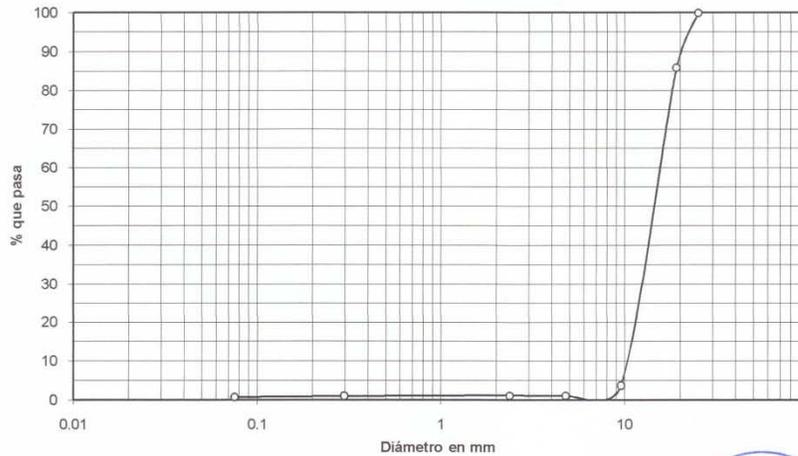
INFORME No: 389 S.S.

O.T. No. 25,937

Interesado: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
 Proyecto: Tesis " Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico metodo Marshall"  
 Procedencia: Agregua planta Palin Oeste  
 Fecha: 10 de septiembre

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1	25	100.00
3/4	19	85.90
3/8	9.5	3.70
4	4.75	1.20
8	2.36	1.20
50	0.297	1.00
200	0.075	0.8

% de Grava: 98.80  
 % de Arena: 0.40  
 % de Finos: 0.80



Descripción del material: Agregado triturado basáltico 3/4 a 3/8

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.   
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC



  
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 008809**

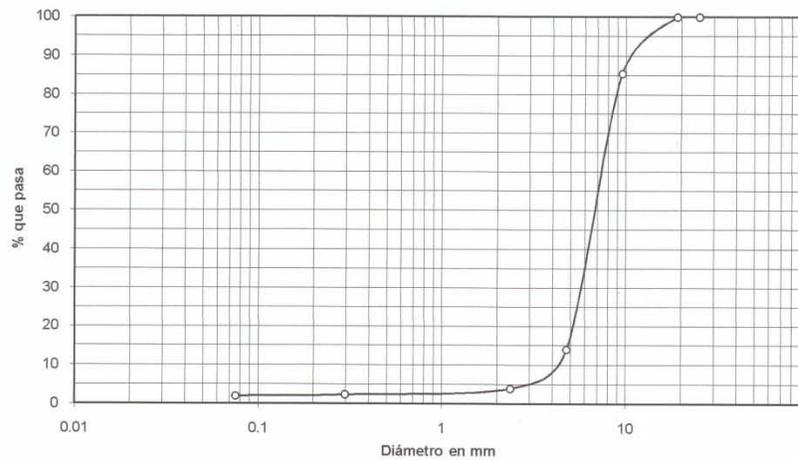
INFORME No: 390 S.S.

O.T. No. 25,937

Interesado: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
 Proyecto: Tesis " Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico metodo Marshall"  
 Procedencia: Agregua planta Palin Oeste  
 Fecha: 10 de septiembre

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1	25	100.00
3/4	19	100.00
3/8	9.5	85.50
4	4.75	14.00
8	2.36	4.00
50	0.297	2.30
200	0.075	2.00

% de Grava: 86.00  
 % de Arena: 12.00  
 % de Finos: 2.00



Descripción del material: Agregado triturado basáltico 3/8 A 1/4

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.   
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC



  
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008810

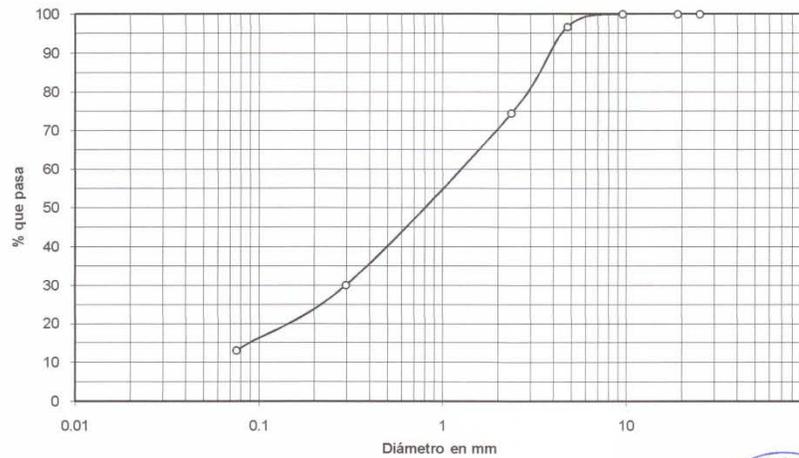
INFORME No: 391 S.S.

O.T. No. 25,937

Interesado: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
Proyecto: Tesis " Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico metodo Marshall"  
Procedencia: Agregua planta Palin Oeste  
Fecha: 10 de septiembre

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1	25	100.00
3/4	19	100.00
3/8	9.5	100.00
4	4.75	96.70
8	2.36	74.50
50	0.297	30.10
200	0.075	13.1

% de Grava: 3.30  
% de Arena: 83.60  
% de Finos: 13.10



Descripción del material: Agregado triturado basáltico 1/4 A 0

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



*Omar E. Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 008811**

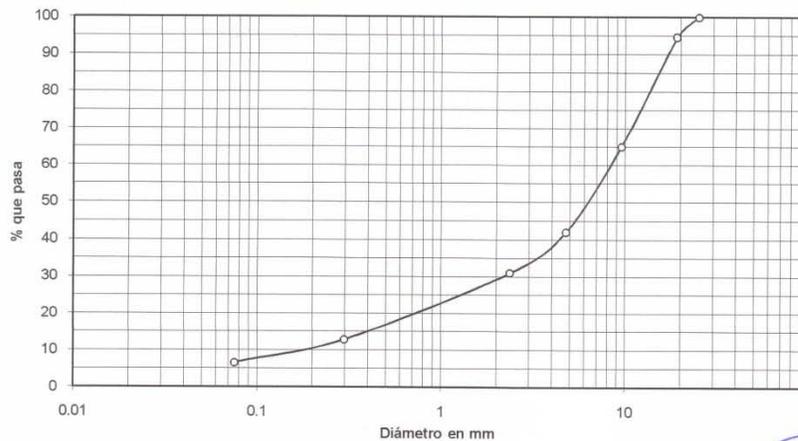
INFORME No: 392 S.S.

O.T. No. 25,937

Interesado: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
 Proyecto: Tesis " Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico metodo Marshall"  
 Procedencia: Agregua planta Palin Oeste  
 Fecha: 10 de septiembre

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1	25	100.00
3/4	19	94.50
3/8	9.5	65.10
4	4.75	42.00
8	2.36	31.00
50	0.297	12.80
200	0.075	6.5

% de Grava: 58.00  
 % de Arena: 35.50  
 % de Finos: 6.50



Descripción del material: Granulometría practica curva tipo D, Basalto

Observaciones: Integracion de materiales Basálticos,(3/4 a 3/8),(3/8 a 1/4),(1/4 a 0 )

Atentamente,

Vo. Bo.   
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC



  
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008812

INFORME No.: 393 S. S.

O.T.: 25,937

INTERESADO: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
PROYECTO: Tesis "Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico, método Marshall"  
ASUNTO: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA  
Norma: A.A.S.H.T.O T-85  
PROCEDENCIA: Agregua Planta Palin Oeste

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Agregado basáltico procedente de trituración gruesos (pasa 3/4 retenido No4)

FECHA: 10 de septiembre 2009

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

Descripción	1	2	3	promedio
Gsb 23°C	2.654	2.642	2.630	2.642
Gse 23°C	2.674	2.665	2.654	2.664
Gsa 23°C	2.709	2.705	2.696	2.703
Absorción	0.8	0.9	0.9	0.9

Gsb Gravedad específica bruta o total  
Gse Gravedad específica efectiva  
Gsa Gravedad específica aparente

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



*Omar E. Medrano Mendez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008813

INFORME No.: 394 S. S.

O.T.: 25,937

INTERESADO: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
PROYECTO: Tesis "Incidencia del origen de los materiales calizos y basalticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico, metodo Marshall  
ASUNTO: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA  
Norma: A.A.S.H.T.O T-84  
PROCEDENCIA: Agregua Planta Palin Oeste

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Agregado Basaltico procedente de trituracion Intermedios (pasa No 4 retenido No 40)

FECHA: 10 de septiembre 2009

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

Descripción	1	2	3	promedio
Gsb 23°C	2.651	2.659	2.628	2.646
Gse 23°C	2.680	2.684	2.664	2.676
Gsa 23°C	2.731	2.726	2.727	2.728
Absorción	1.0	0.9	1.4	1.1

Gsb Gravedad especifica bruta o total  
Gse Gravedad especifica efectiva  
Gsa Gravedad especifica aparente

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

  
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008814

INFORME No.: 395 S. S.

O.T.: 25,937

INTERESADO: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
PROYECTO: Tesis "Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico, método Marshall"  
ASUNTO: ENSAYO DE GRAVEDADE ESPECIFICA  
Norma: A.A.S.H.T.O T-84  
PROCEDENCIA: Agregua Planta Zona 6

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Agregado calizo procedente de trituración Intermedios (pasa No. 4 retenido No. 40)

FECHA: 10 de septiembre 2009

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

Descripción	1	2	3	promedio
Gsa 23°C	2.687	2.703	2.703	<b>2.698</b>

Gsa Gravedad específica aparente

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado

Atentamente,



*Omar E. Medrano Mendez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008815

INFORME No.: 396 S. S.

O.T.: 25,937

INTERESADO: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
PROYECTO: Tesis: "Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico, método Marshall"  
ASUNTO: ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA  
Norma: A.A.S.H.T.O T-176  
PROCEDENCIA: Agregua Planta Palin Oeste

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Agregado basáltico procedente de trituración  
mezcla de agregados de 3/4" a 0"

FECHA: 10 de septiembre 2009

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

E.A=	70.3%
------	-------

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado

Atentamente,

Vo. Bo.  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. 397 S. S.

O.T.: 25,937

Nº 008816

INTERESADO: Marco Antonio Mendoza Ixpanel  
PROYECTO: Tesis "Incidencia del origen de los materiales calizos y basálticos en el diseño de mezclas de concreto asfáltico método Marshall"  
ASUNTO: ENSAYO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE.  
Norma: Estabilidad Marshall, Flow AASHTO T-245, ASTM D-1559  
Densidad de Mezcla comprimida AASHTO T-166  
FECHA: 10 de septiembre de 2009  
Muestra: 1

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

No	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad(Lbs)	Flow (0.01")
1	2.354	1809	10
2	2.363	1753	9
3	2.336	1978	11
4	2.395	1978	12
5	2.401	2125	13
6	2.356	2147	11
7	2.420	2196	13
8	2.418	2255	13
9	2.416	2019	13
10	2.426	2078	14
11	2.416	1959	12
12	2.431	2078	16
13	2.429	1875	15
14	2.424	1935	14
15	2.427	1746	16
16	2.419	1688	16
17	2.401	1723	14
18	2.416	1688	15

OBSERVACIONES: Resultado de briquetas del Diseño con material basáltico

Atentamente,

Vo. Bo.  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



*Omar E. Medrano Mendez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

