

## CAPÍTULO I

### DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

#### INTRODUCCIÓN

Diversas investigaciones han evidenciado que el contenido de betumen juega un rol fundamental en la vida útil de un pavimento. La determinación cuantitativa de betumen en mezclas asfálticas en caliente y su granulometría adecuada incide en la durabilidad y en las propiedades físico-mecánicas de una mezcla de concreto asfáltico. La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores, tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

El contenido óptimo de betumen de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

El presente proyecto consiste en la elaboración de una investigación teórico-práctico sobre el **análisis de los métodos de ensayo para la determinación cuantitativa del contenido de betumen en mezclas asfálticas en caliente**. Por lo tanto, para el desarrollo de esta investigación se llevará a cabo el uso de tres métodos como ser Extractores de reflujo, Extractores al vacío y extractor Centrífugo cuyo principal objetivo es extraer el contenido de betumen en muestras de carpeta asfáltica, ya que en la actualidad el Laboratorio de Asfaltos no cuenta con una metodología para realizar los cálculos, los análisis y la interpretación de los resultados obtenidos en cada una de las pruebas.

Este proyecto de grado se ha desarrollado con el fin de proveer una metodología sencilla y una herramienta adecuada de trabajo y verificar que los aparatos cumplan con las especificaciones dadas.

### **ANTECEDENTE**

La proporción de betumen en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El betumen de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante) dictados por el método de diseño seleccionado.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (Nº 200)). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte el contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará. En vez de hacer ajuste arbitrario, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla. La capacidad de absorción (habilidad para absorber betumen) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de betumen. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente betumen la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto.

El contenido total de betumen es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de betumen de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de

absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

## **JUSTIFICACIÓN**

El Análisis de los Métodos de Ensayos para la Determinación Cuantitativa del Contenido de Betumen en Mezclas Asfálticas en Caliente, se realizará con la finalidad de proyectar para el futuro, el empleo de 3 diferentes métodos disponibles en laboratorio de los cuales dos son nuevos y aún no han tenido uso alguno, y a su vez sirva de guía para uso de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil y que las diferentes empresas de nuestro medio puedan emplear estas técnicas en trabajos de investigación, de tal manera, se pueda analizar como incide el contenido de Betumen y la granulometría en la durabilidad de las carpetas asfálticas, cuya habilidad es resistir factores, tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de betumen (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto.

Realizando la elaboración de testigos que serán sometidos a diferentes porcentajes de betumen, las cuales deben tener características iniciales idénticas, que permitan efectuar los diferentes métodos de ensayo, donde se evidencie que el contenido de betumen extraído por los diferentes métodos cumplan el control de calidad de acuerdo a las especificaciones dadas.

Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de betumen en las mezclas finales o testigos elaborados. Obteniendo de esta manera la comprobación de que método será el más factible o recomendado.

## **DISEÑO TEÓRICO**

### **Planteamiento del problema**

#### **Situación problemática**

Diversas investigaciones han evidenciado que el contenido de betumen juega un rol fundamental en la vida útil de un pavimento. La determinación cuantitativa de betumen en mezclas asfálticas en caliente y su granulometría adecuada incide en la durabilidad y en las propiedades físico-mecánicas de una mezcla de concreto asfáltico.

El cálculo estructural de la capa de rodadura se realiza suponiendo que existe un perfecto contenido de betumen, sin embargo, esto no ocurre en la realidad. El incumplimiento de especificaciones ocasiona problemas, tales como fallas prematuras y poca durabilidad del concreto asfáltico en funcionamiento.

Actualmente se da mucha importancia al control de calidad, como una manera de asegurar que la carpeta asfáltica cumple con especificaciones técnicas. Por lo cual, surge la necesidad de desarrollar esta investigación a través de un análisis para determinar el contenido de betumen en testigos empleando diferentes métodos de ensayo en laboratorio, donde se evidencie que el porcentaje de betumen extraído por los 3 métodos cumplen con el control de calidad de acuerdo a las especificaciones dadas. Obteniendo de esta manera la comprobación de que método será el más eficaz o recomendado.

### **Problema**

¿Cómo verificar el método más conveniente para determinar el contenido de betumen, a partir de muestras asfálticas en caliente?

### **Objetivos de investigación**

#### **Objetivo general**

Analizar y comparar los 3 métodos de ensayos para la determinación cuantitativa del contenido de betumen en mezclas asfálticas en caliente, para determinar el método más apropiado.

#### **Objetivos específicos**

- Analizar el desempeño y caracterización del betumen.
- Realizar estudios previos y caracterización de los agregados pétreos.
- Determinar del contenido óptimo de betumen mediante el método Marsahll.
- Extracción del contenido de betumen en los testigos elaborados mediante los siguientes ensayos (I.N.V.E. 732-27).

- Generar curvas de calibración para cada método para su respectiva correlación y determinación del método más óptimo.
- Realizar la aplicación práctica en el tramo carretero Santa Ana - Yesera Km 10- km 20, facilitado por el servicio de caminos de Tarija.
- Verificación de los porcentajes obtenidos de los núcleos extraídos en el tramo realizado, a través de la ecuación de cada curva de calibración para los distintos métodos.

### **Hipótesis**

Si realizamos testigos con distintos porcentajes de betumen, a través de los distintos métodos de ensayo de extracción de su contenido, podremos analizar y comparar el mejor método para la determinación cuantitativa del betumen en mezclas asfálticas en caliente .

### **Definición de variables independientes y dependientes**

#### **Variable Independiente (X):**

Contenido de betumen: se refiere a los distintos porcentajes de betumen, que se adiciona a los agregados de una mezcla asfáltica.

#### **Variable Dependiente (Y):**

Métodos de ensayo: se refiere a los ensayos para analizar el contenido de betumen y control de calidad de una carpeta asfáltica, los cuales son:

Extractor centrífugo (Método A).

Extractor de reflujo (Método B).

Extractor de vacío (Método E).

### Conceptualización y operación de variables

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1

Variable Nominal	Conceptualización	Operación		
		Dimensión	Indicador	Valor Acción
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>  Contenido de betumen.	Se refiere a los distintos porcentajes de betumen, que se adiciona a los agregados de una carpeta asfáltica.	Betún Asfáltico nuevo de aportación	Caracterización	Penetración
				Punto de Ignición
				Ductilidad
				Densidad
				Punto de Ablandamiento
		Agregado nuevo de aportación	Caracterización	Granulometría
				Peso Específico
				Desgaste de los Ángeles
				Equivalente de Arena
		Diseño de testigos	Distintos % de Betún Adicional	Elaboración de briquetas Ensayo método Marshall
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>  Métodos de ensayo	Se refiere a los ensayos para analizar el contenido de betumen y control de calidad de una carpeta asfáltica.	Extracción de contenido de betumen	% de Betumen (inicio de construcción de testigos )	Ensayos: - Extractor de vacíos. -Extractor de reflujo. -Extractor centrífugo.
			% de Betumen (al finalizar su extracción con los métodos)	

Conceptualización y operación de variables

Fuente: Elaboración Propia

## **DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Componentes**

#### **Unidades de estudio y decisión muestral**

##### **Unidad de estudio**

Métodos de ensayo para determinar el contenido de Betumen.

##### **Población**

Mezclas asfálticas.

##### **Muestra**

Elaboración de testigos en laboratorio de asfaltos de la Universidad Juan Misael Saracho, que serán sometidas a distintos porcentajes de betumen.

##### **Muestreo**

Extracción del contenido de betumen de los testigos elaborados, mediante los tres métodos de ensayo: extractor centrifugo, extractor de reflujo, extractor de vacíos. Analizando y comparando para determinar el método más óptimo y factible.

### **Métodos y técnicas empleadas**

#### **Selección de métodos y técnicas**

Técnica de muestreo por conveniencia: es una técnica de muestreo no probabilístico y no aleatorio utilizada para crear muestras de acuerdo a la facilidad de acceso, la disponibilidad de las personas de formar parte de la muestra, en un intervalo de tiempo dado o cualquier otra especificación práctica de un elemento particular que están más al alcance de un investigador.

Se utilizó esta técnica de muestro considerando el tiempo que tenía acceso al laboratorio de asfalto, puesto que no era la única persona que lo usaba, debido a que solo podía desmoldar 5 probetas al día, con lo que tenía 18 días laborales para la realización de un total de 90 probetas y al ser un muestreo estadístico se podía realizar

curvas de calibración con 5 probetas por porcentaje de betumen y un total de 30 probetas para los 3 métodos de extracción.

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..2  
Cantidad de ensayos

<b>Ensayo</b>	<b>Numero de ensayos</b>
Granulometría agregado grueso	1
Granulometría agregado grueso (gravilla)	1
Granulometría agregado fino	1
equivalente de arena	3
Desgaste de los ángeles	1
Peso unitario de la arena	3
Peso unitario de la gravilla	3
Peso unitario de la grava	3
Peso específico de la arena	3
Peso específico de la gravilla	3
Peso específico de la grava	3
Penetración	3
Punto de inflamación	3
Ductilidad	3
Punto de ablandamiento	3
Peso específico	3
Método Marshall	5
Extractor al vacío	18
Extractor de reflujo	18
Extractor centrífugo	18
Extracción de núcleos	9
Suma	109

Fuente: Elaboración Propia

### **Selección de las técnicas de muestreo para la obtención de % óptimo**

El método que se realizará para la obtención del porcentaje óptimo de betún para la elaboración de nuevos testigos, es el Diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall, con ello y junto a los agregados y betún nuevos se caracterizarán dichos materiales, se procede a diseñar la nueva mezcla bituminosa, haciendo variar los porcentajes de betún adicional.

### **Justificación de factibilidad recursos insumos y medios utilizados**

El análisis de los métodos de ensayo para la determinación cuantitativa del contenido de betumen en mezclas asfálticas en caliente depende de tres ensayos que son factibles dentro del laboratorio de asfaltos y pueden realizarse ya que se cuenta con los medios necesarios.

### Listado de actividades a realizar

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3

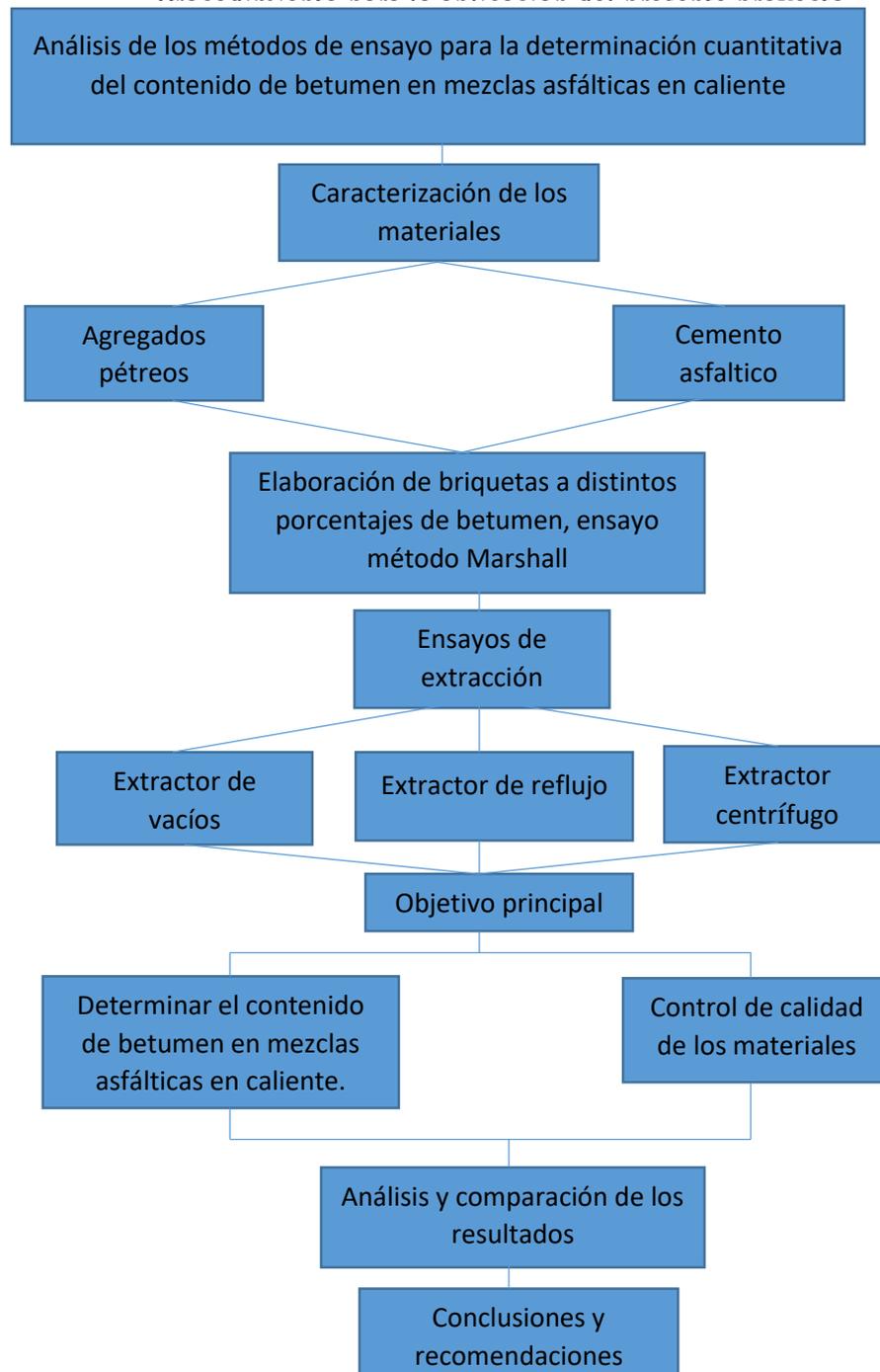
#### Actividades a Realizar

<b>LISTADO</b>
<b>Caracterización de los agregados pétreos</b>
Granulometría
Equivalente de arena
Densidad relativa
Determinación de la resistencia al desgaste
<b>Caracterización de la mezcla asfáltica</b>
Penetración
Punto de inflamación
Ductilidad
Método para determinar la densidad
<b>Determinación del contenido de betumen</b>
Método Marshall
<b>Extracción del contenido de betumen</b>
Extractor al vacío
Extractor de reflujo
Extractor centrífugo
<b>Análisis de resultados</b>

Fuente: Elaboración Propia

## Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva

ESQUEMA ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1



Fuente: Elaboración Propia

## Procedimiento de aplicación

### A. Para la caracterización de los agregados

Para los agregados de aportación:

Horno Eléctrico. -El horno eléctrico es utilizado para el secado de los agregados de aportación, y debe contar con una temperatura constante de 100 a 110 ° C.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1

Horno a gas



Balanza. - La balanza es usada para obtener los distintos pesos que se requiera, con una sensibilidad de 0.1 gr.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..2

Balanza eléctrica



Juego de Tamices. - El juego de tamices debe seguir la norma ASTM E-11, lo cual contiene los tamices 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", No. 4, No. 10, No. 40, No. 200, tapa y fondo.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3

Juego de tamices



#### **B. Para la caracterización del betún**

Para el betún de aportación:

Penetrómetro de Asfalto. - Que sirve para determinar la penetración del betún en estudio.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..4

Penetrómetro



Aparato para la determinación del punto de inflamación Cleveland de copa abierta. Con el cual se determina el punto de Ignición o punto de llama del betún en estudio.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**5**  
Cleveland de copa abierta



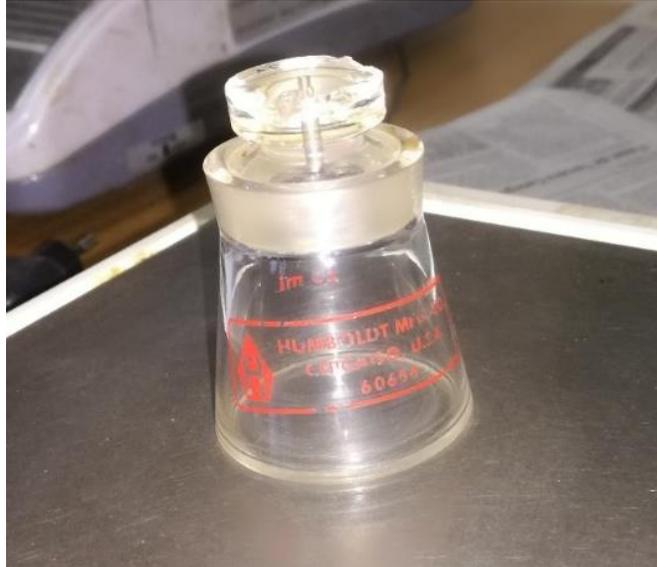
Ductilómetro. - Con el cual se determina la ductilidad del betún, a una temperatura estándar de 25 ° C.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**6** Ductilómetro



Peso Específico. - Que sirve para determinar la densidad del cemento asfáltico.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..7 Picnómetro



### C. Para la determinación del contenido de betumen

Método Marshall.- A través de la caracterización de los agregados pétreos se podrá definir la granulometría la cual será analizada para determinar si cumple con las bandas.

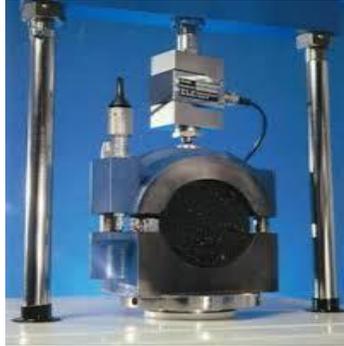
**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..4  
Márgenes aceptables de granulometría del material pétreo para

Tamaño de tamiz	Designación de la mezcla usando el tamaño máximo nominal de agregado				
	37.5 mm (1 1/2")	25 mm (1")	19mm (3/4 ")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")
	porcentaje total que pasa (en peso)				
50 mm (2 ")	100				
37.6 mm (1 1/2")	90 a 100	100			
25 mm (1")		90 a 100	100		
19 mm (3/4")	56 a 80		90-100	100	
12.5 mm (1/2")		56 a 80		90 a 100	100
9.5 mm(3/8")			46-80		90 a 100
4.75 mm (N° 4)	23 a 53	29 a 59	35-65	44 a 74	55 a 85
2.36 mm (N° 8)	15 a 41	19 a 45	23-49	28 a 58	32 a 67
1.18 mm (N° 16)					
0.60 mm (N° 30)					
0.30 mm (N° 50)	4 a 16	5 a 17	5 a 19	5 a 21	7 a 23
015 mm (N° 100)					
0.075 mm (N° 200)	0 a 5	1 a 7	2 a 8	2 a 10	2 a 10
cemento asfáltico porcentaje en peso del total de la mezcla	3 a 80	3 a 9	4 a 10	4 a 11	5 a 12

Fuente: Construcción de pavimentos. Serie de manuales No.22 (MS-22)  
Carpetas asfálticas de Granulometría densa.

Cabezal de rotura Marshall.- Este cabezal junto con el marco multiplex, permite realizarlos ensayos de estabilidad y fluencia para las briquetas en análisis para definir su contenido óptimo de betumen.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**8** Marshall



**D. Para la dosificación y diseño de briquetas**

Moldes de compactación para asfaltos. - En estos moldes se vaciará la mezcla bituminosa, creando briquetas con distintos porcentajes de betún.

Compactador para moldes para asfaltos. - Este compactador sirve para compactar las briquetas según especificaciones técnicas.

**E. Para el análisis del contenido de betumen**

Extractor centrifugo (Método A). - Este método es usado para la determinación cuantitativa del contenido de betumen en las mezclas de pavimentación.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**9**

Extractor centrifugo



Extractor de reflujo (Método B). - Este método es usado para la determinación cuantitativa del contenido de betumen en las mezclas de pavimentación.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..10

Extractor de reflujo



Extractor de vacío (Método E). - Este método es usado para la determinación cuantitativa del contenido de betumen en las mezclas de pavimentación.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..11 Extractor de vacío



## **Procedimiento de aplicación para el tramo elegido**

### **a. Datos principales**

Obtener datos principales del contenido de betumen del tramo que evaluare, a través de la autorización de la entidad que esté a cargo de la estructura elegida.

### **b. Extracción de las muestras**

Se procede a visitar el lugar para realizar una previa inspección y ubicar los puntos de donde se obtendrán las muestras.

Una vez determinado el tramo de donde se van a extraer los núcleos, se hace uso del extractor de núcleo. Después de obtener todas las muestras, las mismas serán llevadas al laboratorio de asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

### **c. Determinación del contenido de betumen**

Una vez obtenido todas las muestras de carpeta asfáltica, se procede a introducirlas en el horno para fluidificarlas y luego introducir dicha mezcla a los ensayos de extractor de reflujo, extractores al vacío y al extractor centrífugo, de donde se obtendrán los agregados y el contenido de betumen por separado. Cabe resaltar que la capacidad de los extractores oscila entre uno a dos kilogramos de muestra.

### **d. Caracterización de los agregados**

Para caracterizar los agregados, se deben someter al horno el secado y luego someterlo a la serie de tamices, con trillado constante en el RopTap por unos quince minutos aproximadamente, luego de este tiempo proceder al pesaje del material que contiene cada tamiz.

Con estos valores obtener las curvas granulométricas, analizar y compensar los porcentajes, de tal manera que se obtenga una nueva curva granulométrica, optimizando el agregado. Esta nueva curva granulométrica debe cumplir con las normas que proporcionan rangos máximos y mínimos para cada tamiz.

### **e. Caracterización del betún**

En este proyecto la caracterización del betumen, se basa en la determinación de su contenido, ya que se considera que es el parámetro más importante para el presente

estudio. Este parámetro debe cumplir con los rangos especificados por normas, caso contrario no sería viable para realizar mezclas asfálticas.

### **Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información**

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización y de las pruebas de contenido de betumen, se procede al tabulado y si es necesario corregir los resultados obtenidos de cada ensayo.

Con los ensayos de caracterización determinamos el cumplimiento de requisitos mínimos según normas, que deben tener tanto del ligante que es el betún y de los agregados.

Una vez finalizado la caracterización se realizará cuadros comparativos para analizar que método es el más adecuado y óptimo para extraer el contenido de betumen.

### **ALCANCE DE INVESTIGACIÓN**

En resumen, el alcance que tendrá este proyecto consiste en la elaboración de una investigación teórico-práctico sobre el **análisis de los métodos de ensayo para la determinación cuantitativa del contenido de betumen en mezclas asfálticas en caliente**. Por lo tanto, para el desarrollo de esta investigación se llevará a cabo el uso de tres métodos como ser Extractores de reflujo, Extractores al vacío y extractor Centrifugo cuyo principal objetivo es extraer el contenido de betumen en muestras de carpeta asfáltica, ya que en la actualidad el Laboratorio de Asfaltos no cuenta con una metodología para realizar los cálculos, los análisis y la interpretación de los resultados obtenidos en cada una de las pruebas.

En el primer capítulo, se describe de manera general de que trata la investigación para el contenido óptimo de betumen, la situación problemática, los objetivos, la justificación y el alcance del presente proyecto.

El segundo capítulo, comprende la parte teórica, donde se detalla el estado de conocimiento, es decir, toda la información necesaria y relevante al proyecto, como es todo lo referente a los procedimientos que se debe realizar para llevar a cabo de manera adecuada la ejecución de cada método.

El tercer capítulo, se realizará la caracterización de los materiales a utilizar. Llevando a cabo los siguientes ensayos:

- 1) Caracterización del betumen a través de los siguientes ensayos:
  - Ensayo de penetración (ASTM D5 AASHTO T49-97).
  - Ensayo para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO T79-96).
  - Ensayo para determinar la densidad (ASTM D71-94 AASHTO T229-97).
  - Ensayo para determinar la ductilidad (ASTM D113 AASHTO T151-00).
- 2) Caracterización de los agregados pétreos mediante los siguientes ensayos:
  - Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 AASHTO T88).
  - Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos grueso (ASTM E127 AASHTO T85-91).
  - Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM E128 AASHTO T84-00).
  - Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D24-19).
  - Método para determinar la resistencia al desgaste mediante la máquina De Los Ángeles (ASTM E131 AASHTO T96-99).
- 3) Determinación del contenido óptimo de betumen a través del método Marshall.
- 4) Elaboración de briquetas sometidas a diferentes porcentajes

En el cuarto capítulo se llevará a cabo la extracción del contenido de betumen que serán sometidas a diferentes ensayos de extracción como ser:

Extractor centrífugo (Método A).

Extractor de reflujo (Método B).

Extractor de vacíos (Método E).

Seguidamente se llevará a cabo la elaboración de curvas de calibración para cada método determinando así su correlación para así verificar que ensayo es el más óptimo.

Finalmente se realizará una aplicación práctica en el tramo Santa Ana – Yesera Km 10- Km 20 donde se extraerá 9 núcleos, que luego serán procesados por los tres métodos (extractor d reflujó, extractor de vacíos y extractor centrifugo), para determinar su contenido de betumen.

El quinto capítulo, establece las conclusiones a partir de lo planteado en los objetivos del presente proyecto y las recomendaciones para la correcta aplicación y ejecución de este trabajo.

## **CAPÍTULO II**

### **ESTADO DE CONOCIMIENTO**

#### **INTRODUCCIÓN**

Una mezcla asfáltica está compuesta de agregados pétreos y un ligante asfáltico. El agregado es generalmente una combinación de distintos tamaños de piedra, intermedio y fino, los cuales varían localmente y son obtenidos de canteras ríos o minas. Dependiendo del tipo de mezcla los agregados varían en tamaño, calidad y otras propiedades.

La ingeniería enfrenta permanentemente el reto de mantener y desarrollar estructuras de pavimento con recursos económicos limitados. Las especificaciones tradicionales de diseño y construcción establecen la necesidad de grandes cantidades de materiales de alta calidad para garantizar la durabilidad y desempeño de las estructuras, aunque no hay disponibilidad suficiente de tales materiales. Ante este panorama la ingeniería ha recurrido a alternativas de diseño que consideren; una dosis apropiada de riego de adherencia, buena calidad de materiales, una correcta fase constructiva de la carpeta nueva que asegure un mejor comportamiento; así como prácticas de diseño innovadoras para verificar la calidad final conseguida en la adherencia de las carpetas asfálticas que es lo que en realidad se debería medir.

#### **ASPECTOS GENERALES SOBRE PAVIMENTOS**

Todos hemos tenido la oportunidad de observar un pavimento, ya sea en largas caminatas en la vida o simplemente al conducir un automóvil, donde sólo vemos la inmensa capa asfáltica, pero un pavimento no solo es esa capa externa y observable, es toda una estructura compleja, que necesita un diseño especial.

Se denomina pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma

disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones, debe reunir las siguientes exigencias:

Resistir a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.

Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.

Presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinalmente, que permitan comodidad y confort a los usuarios.

Presentar adecuadas condiciones respecto al drenaje.

Ser económico

### **PAVIMENTO FLEXIBLE**

Son aquéllos que tienen un revestimiento asfáltico sobre una capa base granular. La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de tensiones cizallantes. En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su fisuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico. Al mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado, y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento fuera significativa.

Resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil.

Este tipo de pavimento está compuesto por varias capas de material. Cada capa recibe las cargas por encima de la capa, se extiende en ella, entonces pasa a estas cargas a la siguiente capa inferior.

Por lo tanto, la capa superior será la que posee la mayor capacidad de carga del material (la más cara) y la de más baja capacidad de carga de material (y más barata) ira en su parte inferior.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo



### **Capaz de un pavimento flexible**

La típica estructura de un pavimento flexible consta de las siguientes capas:

Capa superficial: ésta es la capa superior y la capa que entra en contacto con el tráfico. Puede estar compuesta por una o varias capas asfálticas.

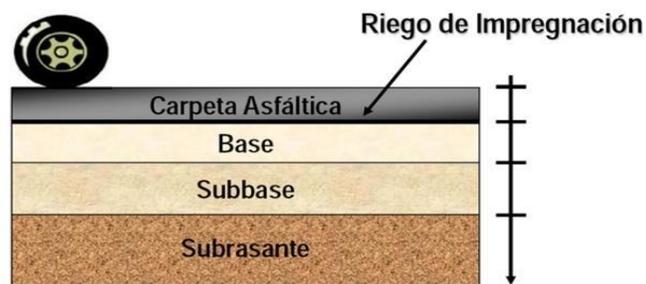
Base: ésta es la capa que se encuentra directamente debajo de la capa superficial y en general, se compone de agregados (ya sea estabilizado o sin estabilizar).

- a) Capa sub-base: ésta es la capa o capas, están bajo la capa base que no siempre es necesaria.

### Duración de un pavimento flexible

La estrategia de diseño seleccionado deberá presentar un mínimo de ocho años antes de que sea obligatoria la superposición de la capa. En general la duración óptima debería estar diseñada para un periodo de 20 años. Cuando mayor sea el módulo que se añada a la capacidad de las capas de pavimento. La carga se distribuye a lo largo de un área más amplia de la sub-base o suelo de apoyo.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo  
Sección Transversal:



Fuente: Pirhua.udep.edu.pe.

### Características de un pavimento flexible

Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes:

- a) Resistencia estructural
- b) Capacidad de deformación
- c) Durabilidad
- d) Costo
- e) Requerimientos de conservación
- f) Comodidad

## **DEFINICIÓN DE ASFALTO**

Es un material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras, autovías o autopistas. También es utilizado en impermeabilizantes. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de bitumen.

Propiedades deseables:

Alta elasticidad a elevadas temperaturas

Suficiente ductilidad a bajas temperaturas

Baja susceptibilidad al cambio de temperatura

Bajo contenido de parafina

Buena adhesión y cohesión

Alta resistencia al envejecimiento

## **Uso de asfalto**

Como el asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneamente y fluir bajo la acción de cargas y permanentes, presenta las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la penetración.

Proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

## **Tipos de Asfalto**

La mayor parte del asfalto que se emplea hoy en día en América proviene de la refinación del petróleo. El asfalto refinado se produce en una gran variedad de tipos

desde sólidos, duros y quebradizos hasta los fluidos casi tan líquidos como el agua. La forma semisólida conocida como cemento asfáltico es el material básico y puede considerarse como una combinación de asfalto duro y aceites no volátiles del petróleo. En la figura que sigue se presenta algunos tipos de los productos obtenidos por destilación directa del petróleo crudo, ya que la destilación es el proceso principal que se emplea para obtener al asfalto del petróleo.

**ESQUEMA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..2 Tipos de productos asfálticos obtenidos por destilación de petróleo crudo

<b>Tipos de productos asfálticos obtenidos por destilación directa del petróleo crudo</b>			
Aceites volátiles			
Aceites de volatilización lenta	Aceites de volatilización		
Aceites no volátiles	Aceites no volátiles	Aceites no volátiles	
Asfalto duro	Asfalto duro	Asfalto duro	Asfalto duro

Fuente: Texto guía de Carreteras II.

Disolviendo el cemento asfáltico en diferentes destilados volátiles del petróleo, o emulsificando con agua, se obtienen los productos asfálticos los cuales muy pronto adquieren un alto valor cementante al usarse.

A continuación, se presentan los tipos de productos asfálticos líquidos que actualmente son más empleados en los pavimentos flexibles.

Asfalto de fraguado lento

Asfalto de fraguado medio

Emulsión asfáltica

Además de los productos asfálticos anteriores, llamados los tres primeros asfaltos rebajados, hay otros asfaltos diferentes y que a continuación se citan.

### **Asfalto natural**

Es un asfalto que se obtiene por el proceso natural de evaporación o destilación, y se forma cuando el petróleo crudo sube hasta la superficie de la tierra a través de grietas. Ya en la superficie, la acción conjunta del sol y el aire separa los aceites ligeros y los gases dejando un residuo que es el asfalto, el cual generalmente está impregnado con un cierto porcentaje de arcilla o arena muy fina que se adhiere al petróleo crudo durante el trayecto ascendente por las grietas a la superficie.

### **Asfalto de lago**

Es un asfalto natural que se encuentra en depósitos superficiales en las depresiones de la tierra.

### **Roca asfáltica**

Es una roca porosa que se encuentra en la naturaleza con cierto grado de impregnación asfáltica.

### **Gilsonita**

Es un asfalto natural duro y quebradizo que se encuentra en las hendiduras de las rocas, o en vetas de donde se extrae.

### **Asfalto refinado con vapor**

Es el asfalto que se refina en presencia del vapor durante el proceso de destilación.

### **Cemento asfáltico**

Son asfaltos refinados o una combinación de asfalto refinado y aceite fluidificante de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación.

Estos pueden proceder de depósitos naturales, que son enormes lagos de asfalto mezclado con un material mineral, agua y otras impurezas. Una vez refinados se puede obtener hasta un 97% de bitumen. Estos asfaltos refinados son muy duros y se les da la

consistencia, mezclándolos con aceites o residuos provenientes de la destilación del petróleo de base asfáltica.

### **Asfalto refinado**

Es cualquier asfalto sometido a un proceso de refinación.

### **Asfalto pulverizado**

Es el asfalto duro el cual ha sido molido hasta reducirlo a polvo.

### **Mastique asfáltico**

Es una mezcla de cemento asfáltico y natural mineral en proporciones tales que al calentarse se vuelve una masa espesa, de lenta fluidez que puede vaciarse y compactarse con una cuchara de albañil hasta obtener una superficie lisa.

### **Asfalto oxidado o soplado**

Es aquel asfalto al cual se le ha modificado algunas de sus características naturales, debido a que se le ha inyectado aire a temperatura elevada durante su destilación. Este asfalto tiene un punto de fusión más alto que el asfalto de la misma consistencia elaborado por simple destilación o evaporación.

### **Materiales bituminosos**

Son materiales aglomerantes, de naturaleza orgánica. Los betunes, junto con el barro, fueron los primeros materiales que utilizó el hombre. Estos materiales eran utilizados porque tenían buenas propiedades adhesivas, buenas características impermeables. (En países como Siria).

No llevaban tratamiento superficial. Los recogían de las superficies de los lagos (de un material consolidado) y que ellos utilizaban como material aglomerante.

### **Betunes naturales**

Son aquellos que aparecen en la naturaleza. El origen de estos betunes está en los petróleos que han subido a la superficie a través de fisuras y se han depositado allí; con el tiempo los materiales más ligeros que lo componían se evaporaron, quedando los componentes de mayor viscosidad.

Si estos betunes, los unimos a betunes artificiales, pues les confieren mejoras en cuanto a resistencias y durabilidad.

A veces estos betunes impregnan rocas porosas y se las conoce como rocas asfálticas; y fueron el primer material bituminoso utilizado en pavimentación.

### **Betún o betumen asfáltico**

Los betunes asfálticos se definen como productos derivados del petróleo de aspecto oscuro y viscoso, con características aglomerantes y propiedades termoplásticas que hacen apropiado su empleo de firmes. Mezcla de hidrocarburos naturales pirogenados (aquellos que se han sometido a tratamientos de calor); y son esencialmente solubles en sulfuro de carbono o en tricloroetileno. También reciben el nombre de betunes de penetración, ya que es el ensayo de penetración quien los caracteriza y clasifica.

Características que vamos a exigir a los betunes:

Fácil puesta en obra.

Buena adhesividad a los áridos con los que los vamos a unir.

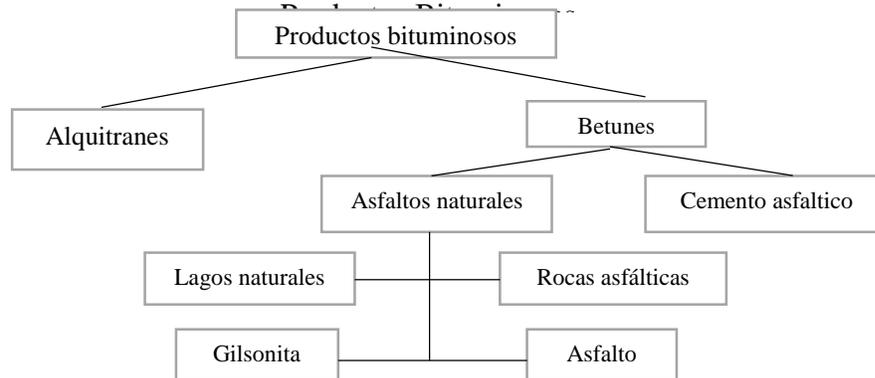
Buena cohesión entre partículas, para que pueda soportar sin romperse a los esfuerzos a los que le vamos a someter.

Baja susceptibilidad térmica; esto significa que cuando se ponga en obra tenga comportamiento plástico, ya que este material viscoso cuando se calienta puede llegar a deformarse permanentemente y cuando está sometido a bajas temperaturas se fragiliza pudiendo llegar a romperse.

Envejecimiento lento; para que no pierda las características con el tiempo y que así resulte más rentable el material.

Elevada impermeabilidad.

### ESQUEMA ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3



Fuente: Instituto de asfalto “asfalto frio – mix reciclaje”.

En general, todos los betunes presentan una serie de características físicas comunes, tales como su color oscuro, la facilidad de presentar buena adhesividad con la superficie de las partículas minerales o su inmiscibilidad con el agua.

Sus propiedades más destacables de los betunes desde el punto de vista de la técnica de construcción de carreteras son las siguientes:

**Adhesividad.** - Facilidad que presenta el betún para adherirse a la superficie de una partícula mineral.

**Viscosidad.** - Se define como la resistencia que oponen las partículas a separarse, debido a los rozamientos internos que ocurren en el seno del fluido. En el caso de los betunes, varía con la temperatura, lo que da una idea de susceptibilidad térmica.

**Susceptibilidad Térmica.** - Indica la propensión que presenta el betún a variar ciertas propiedades reológicas con la temperatura. Gracias a esta propiedad pueden manejarse con facilidad a altas temperaturas, presentando una mayor estabilidad a temperatura ambiente.

Plasticidad. - Define el comportamiento mecánico del betún ante diferentes estados físicos y temporales de carga. Un betún poco plástico no soportará deformaciones excesivas sin que se produzcan grietas.

Envejecimiento. - Fenómeno de degradación y transformación química de los componentes del betún debido a la acción oxidante del aire y la presencia de humedad y radiaciones solares, haciendo que el betún pierda sus propiedades reológicas y adhesivas.

### **DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

El diseño de mezclas asfálticas, así como el diseño de otros materiales de ingeniería, consiste principalmente en seleccionar y hacer proporciones de los componentes, para obtener las propiedades deseadas o especificadas en la construcción.

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente el desempeño de la misma como pavimento terminado. Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

El objetivo general para el diseño de mezclas asfálticas, es el determinar cada componente de la mezcla asfáltica, y el asfalto que resulte en una mezcla económica que tenga:

Suficiente asfalto para asegurar durabilidad.

Suficiente estabilidad para satisfacer las demandas de tráfico sin distorsión o desplazamientos.

Suficiente manejabilidad para permitir la colocación de la mezcla sin segregación.

Los materiales propuestos a usarse satisfagan los requisitos de las especificaciones del proyecto.

Las combinaciones de agregados satisfagan la granulometría requerida en las especificaciones.

Para lo cual existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfaltos y agregado en una mezcla. Ellos son el Método Marshall y el Método Hveem los que son ampliamente usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación, cuya selección y uso de cualquier de estos métodos de diseño de mezcla es principalmente asunto de gustos e ingeniería, debido a que cada método contiene características y ventajas singulares con resultados satisfactorios.

### **Características y comportamiento de la mezcla**

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla realizada a 150°C colocada y compactada en caliente. Las cuatro características son:

Densidad de la mezcla.

Vacíos de aire, o simplemente vacíos.

Vacíos en el agregado mineral.

Contenido de asfalto.

### **Densidad**

La densidad es la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

**Vacíos de aire**

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la 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. La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del 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.

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.

**Vacíos en el agregado mineral**

Los vacíos en el agregado mineral 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 vacío en el agregado mineral representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. Cuanto mayor sea el vacío en el agregado mineral, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto.

**Contenido de asfalto**

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre más finos contenga la gradación de la mezcla, mayor será el área superficial total y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir,

uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

El contenido total de asfaltos es la cantidad de asfalto que debe 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.

### **Propiedades consideradas en el diseño**

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente cuyo objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclas es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades nombradas a continuación: asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados.

### **Estabilidad**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas de tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamiento, ondulaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

### **Durabilidad**

La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambio en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto. Estos resultados pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito o una combinación de ambos.

### **Impermeabilidad**

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relacionan con impermeabilidad.

### **Trabajabilidad**

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. Puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado y la granulometría.

### **Resistencia a la fatiga**

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito, se ha demostrado por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga.

A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito.

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..5

<b>Mala resistencia a la fatiga</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos</b>
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

Fuente: Construcción de pavimentos. Serie de manuales No.22 (MS-22)

### Resistencia al deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento. Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..6

<b>Poca resistencia al deslizamiento</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos</b>
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidropneumático
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento

Fuente: Construcción de pavimentos. Serie de manuales No.22 (MS-22)

### Criterios de diseño normalizados

Para el diseño de mezclas asfálticas, deben cumplir con la caracterización mediante ensayos establecidos por las normas AASHTO y ASTM, como se muestra en las siguientes tablas:

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..7

<b>Ensayo de laboratorio para agregados</b>	<b>Norma</b>	<b>Propósito</b>
<b>Granulometría</b>	AASHTO T 27 ASTM C 136	La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de la carpeta asfáltica es de primordial importancia porque en función de ellas se conoce de ante mano que clase textura tendrá la carpeta.
<b>Desgaste</b>	AASHTO T 96 ASTM C 131	El objeto es conocer la calidad de material pétreo desde el punto de vista de su desgaste, ya sea por el grado de alteración del agregado, o por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Esta característica esencial cuando el agregado va a estar sujeto a desgaste por abrasión como en el caso de los pavimentos. es la medida de dureza de los agregados y nos da una idea de la forma en la que se comportaran los agregados, bajo los efectos de la abrasión causada por el trafico además de la idea del grado de intemperismo que poseen los agregados.
<b>Sanidad usando sulfato de sodio</b>	AASHTO T 104 ASTM C 88	Permite obtener la información de estabilidad de un agregado bajo la acción de agentes atmosféricos. Los agregados inestables (se disgregan ante la presencia de condiciones atmosférica desfavorables) resultan evidentemente insatisfactorios como agregados de la para mezcla en rodadura en pavimentos, especialmente cuando estos tendrán una gran porción de su superficie expuesta a los agentes atmosféricos, el valor del error permisible no debe ser mayor a 0.5%.
<b>Equivalente de arena</b>	AASHTO T 176 ASTM D 2419	Descubre el exceso de arcilla en los agregados, ya que es un medio rápido para separar las partículas más finas (arcillosas) de los granos más gruesos o de la arena.
<b>Cubicidad de partículas</b>	ASTM D692	Se utiliza para determinar valores como el índice de laja y la cubicidad de las partículas que componen el material pétreo. Las partículas de los agregados, deben ser limpias, duras, resistentes y durables por lo que se debe evitar partículas débiles quebradizas o laminadas ya que son perjudiciales.
<b>Gravedad específica y absorción del agregado grueso y fino</b>	AASHTO T 84 AASHTO T 85 ASTM C 127 ASTM C 128	La gravedad específica aparente se refiere a la densidad relativa del material solido de la partícula constituyente, no se incluye aquí los espacios vacíos (poros accesibles) que contienen las partículas los cuales son accesibles al agua. El valor de absorción es usado para calcular el cambio en el peso de un agregado provocado por el agua absorbida en los poros accesibles de las partículas que constituyen el material comparado con las condiciones secas cuando se evalúa el comportamiento del agregado en el agua durante un periodo largo tal, que se logre alcanzar el valor potencial de absorción del mismo.
<b>Peso unitario y vacío</b>	AASHTO T 19 ASTM C 29M	En la práctica el valor de peso unitario es muy utilizado para realizar conversiones de volúmenes a pesos de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto asfáltico. La dosificación optima de mezclas de agregados para mezclas de superficie en pavimentos puede realizarse utilizando el método de pesos unitarios, el cual consiste en elaborar una gráfica (parecida a la del Proctor) en la cual se grafica las proporciones de los agregados en las abscisas y los pesos unitarios en las ordenadas.

Fuente: Instituto de asfalto

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..8 Ensayos de laboratorio normalizados para asfaltos

Ensayo de laboratorio para asfaltos	Norma	Propósito
Penetración	AASHTO T 49 ASTM D 5	Clasifica los asfaltos en grados según su dureza o consistencia medida en decimas de milímetros. Valores altos de penetración, indicaran consistencia suave.
Punto de inflamación	AASHTO T 48 ASTM D 92	Tiene por propósito, identificar la temperatura a la cual el asfalto puede ser manejado y almacenado sin peligro que se inflame. El punto de inflamación se mide por el ensayo en copa abierta Cleveland.
Ductilidad	AASHTO T 51 ASTM D 113	Provee de una medida de las propiedades al estiramiento de los cementos asfálticos y el valor resultante puede ser usado como criterio de aceptación del material asfáltico ensayado. Se considera la ductilidad como la capacidad que tiene el asfalto de resistir esfuerzos de estiramiento bajo condiciones de velocidad y temperatura específica.
Punto de reblandecimiento	AASHTO T 53 ASTM D 36	La temperatura determinada como de reblandecimiento, representa aquélla a la cual un cemento asfáltico alcanzara un determinado estado de fluidez, existiendo consecuentemente una pérdida de consistencia del mismo. El punto de reblandecimiento es una prueba de resistencia a la deformación del cemento asfáltico y además es también una prueba de la viscosidad.
Ensayo de flotación	AASHTO T 50 ASTM D 139	Esta prueba caracteriza el comportamiento al flujo o consistencia de ciertos materiales bituminosos, que por su bajo grado de dureza no pueden ser ensayados utilizando el método de penetración. este ensayo es utilizado para medir la consistencia del residuo de destilación de los asfaltos rebajados de fraguado lento.
Solubilidad en tricloroetileno	AASHTO T 44 ASTM D 2042	Este ensayo indica la porción de constituyentes cementantes activos en el asfalto ensayado es decir se utiliza para medir la pureza del asfalto. En esta prueba las sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos, se consideran impurezas.
Peso específico	AASHTO T 228 AASHTO T 85 AASHTO T 84	El peso específico de un cemento asfáltico no se indica normalmente en las especificaciones de la obra, pero existen dos razones por las cuales se debe conocer su valor y son: <ul style="list-style-type: none"> <li>Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura-volumen.</li> <li>Es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado.</li> </ul> Se determina normalmente por el método del picnómetro.
Endurecimiento y envejecimiento	AASHTO T 51 ASTM D 113	Tiene por propósito exponer una o varias muestras a condiciones similares ocurridas durante las operaciones de plantas de mezcla en caliente.

Fuente: Instituto de asfalto

### Requisitos del agregado pétreo

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..9  
Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Densidad relativa, mínimo	2.4
Desgaste de los ángeles, %	35
Partículas alargadas y lajeadas, % máximo	40
Equivalente de arena, % mínimo	50
Perdida de estabilidad por inmersión en agua, % máximo	25

Fuente: Construcción de pavimentos. Serie de manuales No.22 (MS-22)

## **ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL BETUMEN**

### **Método de ensayo de penetración (ASTM D5 AASHTO T49-97)**

#### a) Objeto

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia, valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

#### b) Equipos y materiales

##### **Penetrómetro**

Cualquier equipo que permita el movimiento vertical sin fricción apreciable del vástago sostenedor de la aguja, y que sea capaz de indicar la profundidad de la penetración con una precisión de 0.1 mm. El peso del vástago será de  $47.5 \pm 0.05\text{g}$ . El peso total de la aguja y el vástago será de  $50.0 \pm 0.05\text{g}$ . Para cargas totales de 100 g y 200 g, dependiendo de las condiciones en que se aplique el ensayo, se estipulan pesas de  $50.0 \pm 0.05\text{g}$  y  $100.0 \pm 0.05\text{g}$ .

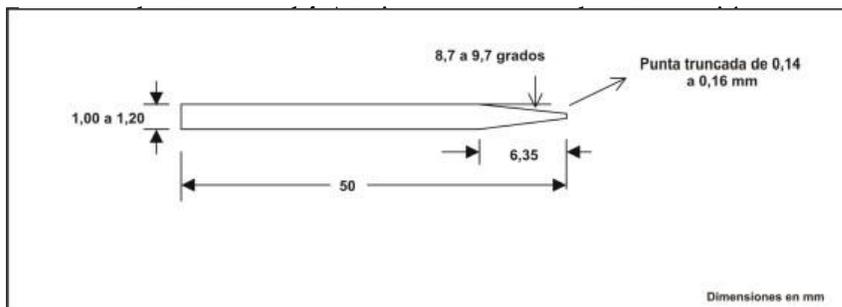
La superficie sobre la que se apoya la cápsula que contiene la muestra será lisa y el eje del émbolo deberá estar aproximadamente a  $90^\circ$  de esta superficie. El vástago deberá ser fácilmente desmontable para comprobar su peso.

##### **Aguja de penetración**

La aguja (Figura 7) es de acero inoxidable templado y duro, grado 440-C o equivalente, HRC 54 a 60; debe tener aproximadamente 50 mm de largo y su diámetro entre 1.00 y 2.00 mm. Será simétricamente afilada en forma cónica, con un ángulo entre  $8.7^\circ$  y  $9.7^\circ$  con respecto al largo total del cono, el que debe ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja.

La aguja debe montarse en un casquete de metal no corrosivo, que tenga un diámetro de  $3.2 \pm 0.05$  mm y una longitud de  $38 \pm 1$  mm. La longitud expuesta de la aguja estándar debe estar comprendida entre 40 y 45 mm. La aguja debe estar rígidamente montada en el casquete. La carrera (lectura del indicador de penetración total) de la

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el



punta de la aguja y cualquier porción de la aguja relativa al eje del casquete, no deberá exceder de 1 mm.

Fuente: Manuales Técnicos para el Diseño de Carreteras en Bolivia.

### Cápsulas

Las cápsulas deben ser de metal o vidrio, de forma cilíndrica y con fondo plano. Sus dimensiones son las siguientes:

Para penetraciones bajo 200: Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 35

Para penetraciones entre 200 y 350: Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 70

### Baño de agua

Tendrá una capacidad mínima de 10 l y un sistema apto para mantenerla a temperatura a  $25^{\circ}\text{C}$ , o cualquiera de ensaye, con una tolerancia de  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ; tendrá, además; una bandeja perforada ubicada a no menos de 50 mm del fondo, ni menos de 100 mm bajo el nivel del líquido en el baño.

Si el ensayo de penetración se realiza en el mismo baño, éste debe estar provisto de una bandeja que soporte el peso del penetrómetro. Para determinaciones a bajas temperaturas se puede utilizar una solución salina.

### **Transportador de cápsula**

Debe tener una capacidad mínima de 50 ml y una profundidad suficiente de agua que permita cubrir la altura del contenedor de la muestra. Debe estar provisto de algún medio que asegure firmemente la cápsula y evite el balanceo; para lo que tendrá tres brazos que permitan a lo menos tres puntos de contacto para sostener la cápsula.

### **Aparato medidor de tiempo**

Para operar un penetrómetro manual, utilice cualquier aparato que mida el tiempo, tal como un medidor de tiempo eléctrico, un cronómetro o cualquier dispositivo a cuerda, que esté graduado en 0.1 s o menos y cuya presión esté dentro de  $\pm 0.1$  s para un intervalo de 60 s.

### **Termómetros**

Se pueden usar termómetros de vidrio de rango adecuado, con subdivisiones y escala máxima de error 0.1 °C, o cualquier otro aparato que mida temperaturas con igual exactitud, precisión y sensibilidad.

#### c) Condiciones generales

Cuando no se especifiquen las condiciones de ensaye, considere la temperatura, carga y tiempo, en 25°C, 100 g y 5 s, respectivamente. Otras condiciones de temperatura, carga y tiempo pueden usarse en ensayos especiales.

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Carga (g)</b>	<b>Tiempo (s)</b>
0	200	60
4	200	60
45	50	5

46.1	50	5
------	----	---

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

d) Extracción y preparación de la muestra

Calentar la muestra cuidadosamente, agitando para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que esté lo suficientemente fluida para vaciar. En ningún caso la temperatura debe elevarse más allá de 60°C sobre el punto de ablandamiento esperado para los alquitranes, o no más allá de 90°C sobre el punto de ablandamiento para caso de asfaltos. No calentar la muestra por más de 30 min. y evitar la incorporación de burbujas en la muestra.

Verter la muestra en la cápsula a una profundidad tal que cuando se enfríe a la temperatura de ensaye, la profundidad de la muestra sea a lo menos 10 mm mayor que la profundidad a la cual se espera que la aguja penetre. Vierta dos porciones separadas para cada variación de las condiciones de ensaye.

Proteja la cápsula contra el polvo, cubriéndola con un vaso y déjela enfriar al aire a una temperatura entre 15° y 30°C, entre 1 y 1,5 h para cápsula pequeña (90 ml) y 1.5 y 2 h, para los más grandes (175 ml). Cuando utilice transportador de cápsula, coloque las muestras junto con éste en el baño de agua, manteniéndolas a la temperatura de ensaye.

e) Procedimiento

1. Examinar la aguja y guía para comprobar que esté perfectamente seca y libre de otros materiales extraños. Limpie la aguja de penetración con tuoleno u otro solvente adecuado, seque con un paño limpio e inserte la

aguja en el penetrómetro. A menos que se especifiquen otra cosa, coloque el peso de 50 g sobre la aguja, obteniendo una masa total de  $100 \pm 0.1$  g.

2. Posicionar la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra; realice esto con la punta de la aguja haciendo contacto real con su imagen reflejada sobre la superficie de la muestra.
3. Hacer un mínimo de tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados al menos 10 mm de la pared de la cápsula y no a menos de 10 mm entre uno y otro. Si la penetración es mayor a 200, use mínimo de tres agujas, dejándolas en la muestra hasta completar las tres penetraciones.

f) Precisión

Usar el siguiente criterio para juzgar si los resultados de penetración son aceptables para asfaltos a 25°C.

Precisión para un solo operador: el coeficiente de variación determinado para un solo operador, es de 1.4% para penetraciones sobre 60. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados por el mismo operador, con el mismo material de cualquier penetración y usando el mismo equipo, no deberían diferir uno del otro en más de 4% de su media o 1 unidad en otros casos.

Precisión entre laboratorios: el coeficiente de variación encontrado entre laboratorios es de 3.8% para penetraciones sobre 60. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados, con el mismo material de cualquier penetración y en dos laboratorios diferentes, no deberían diferir uno del otro en más de 11% de su media o 4 unidades en otros casos. En la Tabla se entregan los criterios para distintos casos:

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..11

Material	Desviación estándar o coeficiente de variación (unidad o %)	Rango de aceptación de dos resultados de ensayo (Unidades o %)
----------	---	--

<b>Precisión para un solo operador</b>		
Asfalto a 25°C, penetraciones bajo 50 (unidades)	0.35	1
Asfalto a 25°C, penetraciones sobre 60 (% de su medida)	1.4	4
Alquitranes a 25°C (% de su medida)	5.2	15
<b>Precisión entre laboratorios</b>		
Asfalto a 25°C, penetraciones bajo 50 (unidades)	1.4	4
Asfalto a 25°C, penetraciones sobre 60 (% de su medida)	3.8	11
Alquitranes a 25°C (% de su medida)	1.4	4

Fuente: Manuales Técnicos para el Diseño de Carreteras en Bolivia

g) Informe

El informe es el promedio de tres determinaciones, aproximando a la unidad. Los valores no deben diferir más allá de las magnitudes que se indican en la siguiente tabla.

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..12 Máxima entre mediciones

<b>Penetración</b>	<b>0 a 49</b>	<b>50 a 149</b>	<b>150 a 249</b>	<b>250 a 500</b>
Máxima diferencia entre la mayor y la menor determinación	2	4	12	20

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

**Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO T79.96)**

a) Objetivo

El método define la determinación de los Puntos de Inflamación y Combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos de petróleo y otros líquidos, excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamación por debajo de 79°C determinado por medio de este ensaye.

b) Equipos y materiales

**Copa Abierta de Cleveland**

Consiste en una copa de ensaye, una placa de calentamiento, un aplicador de la llama, un calentador y apoyos. Una forma de armar el aparato, la placa de calentamiento y la copa, es como se ilustra en las Figura 8 y Figura 9, respectivamente.

**Protector**

Se recomienda un protector cuadrado de 460 mm y 610 mm de alto que tenga un frente abierto.

c) Preparación del aparato

Armar el aparato sobre una mesa nivelada en una pieza sin corrientes de aire; ubique el protector alrededor del aparato de encendido, afirmado por algún medio adecuado que permita la lectura del Punto de Inflamación.

Lavar la copa de ensaye con un solvente apropiado y quite cualquier aceite o vestigios pegados o residuos remanentes de ensayos anteriores. Si hay depósitos de carbón remover con una esponja de acero. Limpiar la copa bajo un chorro de agua fría y seque por unos pocos minutos sobre una llama, placa caliente o en un horno y eliminar los últimos indicios de solvente y agua. Enfriar la copa por lo menos a 55°C por debajo del Punto de Inflamación esperado antes de usarla.

Mantener el termómetro en posición vertical con el bulbo a una distancia de 6.5mm del fondo de la copa (con la tolerancia mostrada en la Figura8) y localizada en el punto medio del trecho entre el centro y el borde de la copa, en un diámetro perpendicular al arco o línea del recorrido de la llama de prueba y en el lado opuesto de la llama del quemador.

d) Procedimiento

1. Llenar la copa a una temperatura conveniente, no excediendo los 100°C por encima de los esperado para le Punto de Ablandamiento; de esa manera

la parte superior del menisco está en la línea de llenado. Para ayudar en esta operación use un medidor de llenado. Si un exceso de muestra se ha agregado a la copa, quítelo usando una pipeta u otro aparato adecuado. Sin embargo, si hay muestras que esté fuera del aparato, vacíe, limpie y vuelva a llenar. Destruya cualquier burbuja de aire sobre la superficie de la muestra.

2. La luz de la llama de prueba se ajusta a un diámetro de 3.00 a 5.00 mm y se compara con el tamaño del cabezal.
3. Aplicar calor inicialmente de modo que la temperatura de la muestra suba con velocidad entre 14 y 17°C por minuto. Cuando la temperatura de la muestra se aproxime a los 55°C por debajo del Punto de Inflamación esperado, disminuir el calor de modo que la velocidad de la temperatura para 28°C antes del Punto de Inflamación, sea de 5 a 6°C por minuto.
4. Comenzar, al menos 28°C por debajo del Punto de Inflamación, aplique la llama de prueba cada 2°C sucesivos leídos en el termómetro. Pase la llama de prueba a través del centro de la copa, en ángulos recto al diámetro que pasa a través del termómetro; con suavidad continúe el movimiento aplicando la llama en línea recta a lo largo de la circunferencia de un círculo que tenga un radio al menos de 150 mm. El centro de la llama de prueba debe moverse en un plano que diste menos de 2 mm por encima del plano del borde superior de la copa, pasando en una dirección primero y en el próximo intervalo en la dirección opuesta. El tiempo consumido en pasar la llama a través de la copa será cercano a 1s durante los últimos 17°C, suba la temperatura previa al Punto de Inflamación. Evitar alteraciones del vapor en la copa de ensaye poniendo atención en movimientos descuidados o en aires suaves cercanos a la copa.
5. Informar el Punto de Inflamación como la temperatura leída en el termómetro, cuando aparece el destello en cualquier punto de la superficie del material, pero no confunda el verdadero destello con el halo azulado que algunas veces circunda la llama de prueba.

6. Para determinar el Punto de Combustión continuar calentando de modo que la temperatura de la muestra se eleve a una razón de 5 a 6°C por minuto. Continuar aplicando la llama a intervalos de 2°C hasta que el material se inflame y continúe quemándose como mínimo 5 s. Informar la temperatura de este punto como el Punto de Combustión del material.

e) Corrección por presión barométrica

Si la presión barométrica real durante el tiempo de ensaye es menor que 715 mmHg, informar y sumar la corrección apropiada al Punto de Inflamación y Punto de Combustión de acuerdo a la siguiente tabla.

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..13 Valores de corrección del punto de

Presión barométrica (mm de mercurio)	Corrección (°C)
715-665	2
664-610	4
609-550	6

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

f) Cálculos

Corregir el Punto de Inflamación o el Punto de Combustión o ambos, de acuerdo con la presión barométrica.

Informar la corrección del Punto de Inflamación o Punto de Combustión o ambos, como el Punto de Inflamación o Combustión de la Copa Abierta de Cleveland.

## g) Precisión

Use los siguientes datos para juzgar la aceptabilidad de resultados (95% confianza)

**Repetibilidad**

Resultados duplicados por el mismo operador serán considerados sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Punto de Inflamación 8°C

Punto de Combustión 8°C

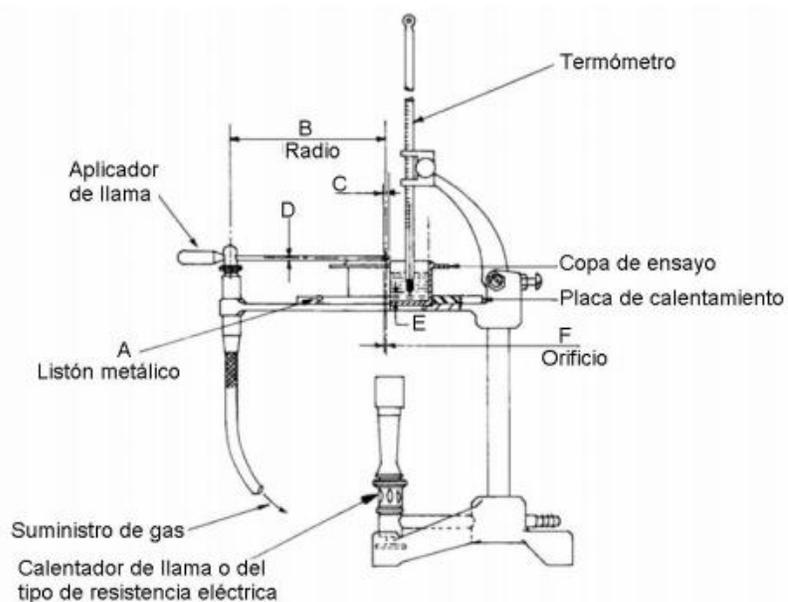
**Reproducibilidad**

Resultados presentados por cada laboratorio, serán considerados sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Punto de Inflamación 16°C

Punto de Combustión 14°C

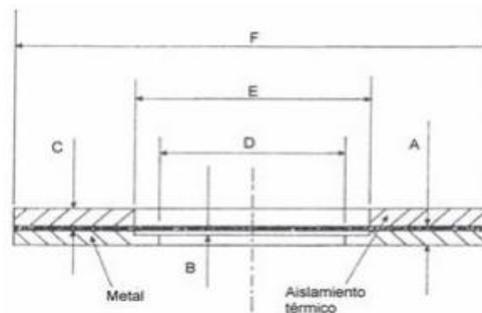
**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el



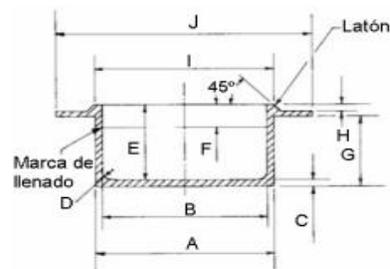
Diámetro	Milímetros		Pulgadas	
	Min	Max	Min	Max
<b>A</b> Diámetro	3.8	5.4	0.2	0.2
<b>B</b> Radio	152	nominal	6	nominal
<b>C</b> Diámetro	1.6	5	0.1	0.2
<b>D</b>	5		0.2	
<b>E</b>	6.4 aprox.		0.3 aprox.	
<b>F</b> Diámetro	0.8	nominal	0.03	nominal

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..16 Placa de calentamiento, Fig. 2 Copa abierta de Cleveland



Diámetro	Milímetros		Pulgadas	
	Min	Max	Min	Max
<b>A</b>	6.4 nominal		0.3	nominal
<b>B</b>	6.4 nominal		0.3	nominal
<b>C</b>	6	7	0.2	0.3
<b>D</b> Diámetro	54.5	56.5	2.2	2.2
<b>E</b> Diámetro	69.5	70.5	2.7	2.8
<b>F</b> Diámetro	150 nominal		0.03	nominal



Milímetros		Pulgadas	
Min.	Max.	Min	Max.
67.5	69	2.7	2.7
62.5	64	2.5	2.5
2.8	3.6	0.1	0.1
4 aprox.		0.2	nominal
32.5	34	1.3	1.3
9	10	0.4	0.4
31	32.5	1.2	1.3
2.8	3.6	0.1	0.1
67	70	2.6	2.8
97	101	3.8	3.9

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

### **Método Para Determinar La Ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T51-00)**

#### a) Objeto

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de forma descrita en 1 se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensaye se efectúa a una temperatura de  $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  y a una velocidad de  $5 \text{ cm/min} \pm 5\%$ . Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

#### b) Equipos y materiales

##### **Moldes**

El molde, de bronce o zinc, debe ser similar en diseño al mostrado en Figura10; los extremos b y b' se denominan clips y las partes a y a', lados del molde. Cuando se arma el molde se obtiene la briqueta especificada, con las dimensiones que se indican:

Distancia entre los centros: 111,5 a 113,5 mm.

Largo total de la briqueta: 74.5 a 75.5 mm.

Distancia entre clips: 29.7 a 30.3 mm.

Borde del clip: 6.8 a 7.2 mm.

Radio del clip: 15.75 a 16.25 mm.

Ancho mínimo de la sección transversal: 9.9 a 10.1 mm

Ancho de la boca del clip: 19.8 a 20.2 mm.

Distancia entre los centros de radio: 42.9 a 43.1 mm.

Diámetro del orificio del clip: 6.5 a 6.7 mm.

Espesor: 9.9 a 10.1 mm.

### **Baño de agua**

Mantener el baño a la temperatura de ensaye especificada, con una tolerancia de  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ . El volumen mínimo de agua es de 10 l. Sumergir la muestra a una profundidad no menor que 10 cm y apoyar sobre una bandeja perforada, ubicada a no menos que 5 cm del fondo del baño.

### **Ductilímetro**

Para traccionar las briquetas de material bituminoso se puede usar cualquier aparato construido de modo que la muestra se mantenga continuamente sumergida en agua, como se especificará en el procedimiento, al mismo tiempo que los clips se traccionan a una velocidad uniforme y sin vibraciones excesivas. Este aparato debe ser termo regulable para mantener la temperatura especificada en forma homogénea en toda la masa de agua, dentro de la tolerancia.

### **Termómetros**

El termómetro por utilizar será ASTM 63C con un rango de temperatura entre -8 y 32  $^{\circ}\text{C}$ .

c) Procedimiento

### 1. Preparación del molde

Armar el molde sobre una placa base; cubrir la superficie de la placa y las superficies interiores de los lados a y a' del molde (Figura10) con una película delgada de desmoldante para prevenir que el material por ensayar se adhiera. La placa sobre la cual e coloca el molde debe estar perfectamente plana y a nivel, de modo que la superficie inferior del molde esté completamente en contacto.

### 2. Moldeo de las muestras para el ensayo

Calentar la muestra con cuidado, previniendo calentamientos locales, hasta que esté suficientemente fluida para verter. Sin embargo, durante el calentamiento, la temperatura no debe exceder de 80 a 110 °C por encima del punto de ablandamiento esperado. Tamizar la muestra fundida a través del tamiz 0.3 mm (N°50); luego continuar revolviendo y verter el material dentro del molde. Durante el llenado cuide no tocar ni desarreglar el molde, de modo que no se distorsione la briqueta; verter con un chorro delgado hacia atrás y hacia adelante, de extremo a extremo, hasta que el molde quede por sobre el nivel de llenado. Deje enfriar a temperatura ambiente por un período de 30 a 40 min y luego colocar en el baño de agua manteniendo a la temperatura de ensaye especificada por 30 min. Luego recortar el exceso de ligante asfáltico con una espátula o cuchillo caliente, resistente y afilado, de modo que el molde se ajuste al nivel de llenado.

### 3. Conservación de las muestras a la temperatura de ensaye

Colocar la placa y el molde con la briqueta en el baño de agua y manténgala por un período de 85 a 95 min a la temperatura especificada; luego quitar la briqueta de la placa, separe las partes a y a' e inmediatamente ensaye la briqueta.

### 4. Ensaye

Enganchar los anillos de cada extremo de los clips a las clavijas del ductilímetro y sepárelos a la velocidad especificada hasta la ruptura de la briqueta; se permite una tolerancia de  $\pm 5\%$  para la velocidad especificada. Medir la distancia en cm. entre los clips traccionados en el momento de producirse la ruptura. Durante el desarrollo del ensaye, el agua en el estanque del ductilímetro cubrirá la briqueta a lo menos 2.5 cm.

y ésta se mantendrá continuamente a la temperatura especificada con una tolerancia de  $\pm 0.5$  °C.

d) Informe

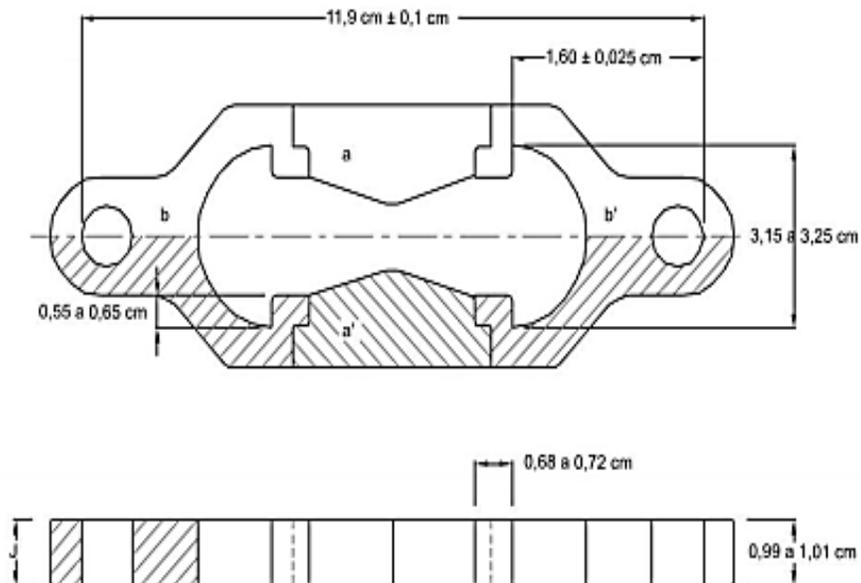
Un ensaye normal es aquel en el cual el material entre dos clips se ha estirado hasta el punto de convertirse en un hilo y la ruptura ocurre en el punto donde el hilo no tiene prácticamente sección transversal. Informar el promedio de tres ensayes normales como la ductilidad de la muestra, indicando la temperatura del ensaye.

Si el material bituminoso llega a tener con la superficie del agua o el fondo del baño, el ensaye no será considerado normal. Se ajustará la densidad del agua del baño agregando alcohol metílico o cloruro de sodio de modo que el material bituminoso no llegue a la superficie del agua ni toque el fondo del baño durante el ensaye.

Si no se lograra un ensaye normal en tres ensayes sucesivos en iguales condiciones, informar ductilidad como “no obtenible” bajo esas condiciones de ensaye.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el

Figura 1.



Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

### Método para determinar la densidad (ASTM D71-94 AASHTO T 229-97)

#### a) Objeto

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso de picnómetro a la temperatura requerida.

#### b) Equipos y materiales

Picnómetro de 24 a 30 ml de capacidad (ver Figura11)

Balanza analítica

Baño termostático capaz de mantener la temperatura requerida en un rango  $\pm 0.1^\circ\text{C}$

Termómetro de  $-8$  a  $32^\circ\text{C}$ , con una precisión de  $0.1^\circ\text{C}$ .

Agua destilada

c) Calibración del picnómetro

Determinar la masa del picnómetro limpio y seco con su tapa, y designarla como A, aproximando a  $0.01$  g.

Llenar el picnómetro con agua destilada y ajuste firmemente la tapa girándola. Sumergir totalmente el picnómetro en un vaso con agua destilada. Colocar el vaso con el picnómetro en el baño de agua de forma que el agua del baño quede al mismo nivel que el del vaso, mantener en el baño como mínimo  $30$  min a la temperatura de ensaye. Retirar el picnómetro y secar rápida y cuidadosamente toda humedad superficial, determinar la masa y designarla como B, aproximando a  $0.01$  g

d) Procedimiento para cementos asfálticos

1. Calentar una pequeña cantidad de material hasta una condición fluida, mediante la aplicación de calor en forma suave; prevenir la pérdida por evaporación. Una vez que la muestra esté suficientemente fluida verter dentro del picnómetro, limpio y seco, hasta aproximadamente la mitad. Es conveniente calentar ligeramente el picnómetro antes de vaciar el material. Tomar precauciones para evitar que el material toque las paredes del picnómetro por encima de su nivel final, y evitar la inclusión de burbujas de aire, aplicando ligeramente la llama de un mechero a la superficie del picnómetro y del asfalto. Enfriar el picnómetro y su contenido a temperatura ambiente y determinar la masa con tapa incluida. Designar esta masa como C, aproximando a  $0.01$  g.
2. Terminar de llenar con agua destilada, insertar la tapa firmemente, sumergir completamente en un vaso lleno de agua destilada y colocar en el baño, de acuerdo a lo indicado en el inciso b. de la calibración del

picnómetro, a la temperatura de ensaye por unos 30 min. Retirar el picnómetro del vaso y séquelo con un paño. Determinar la masa y designarla como D, aproximando a 0.01 g.

3. Determinar la densidad del asfalto de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\rho_b = C - \frac{A}{(B - A) - (D - C)} * \rho_w * 1000$$

Donde:

$\rho_b$  = Densidad del asfalto a la temperatura de ensayo (kg/m).

$\rho_w$  = Densidad del agua a la temperatura de ensayo (k/m).

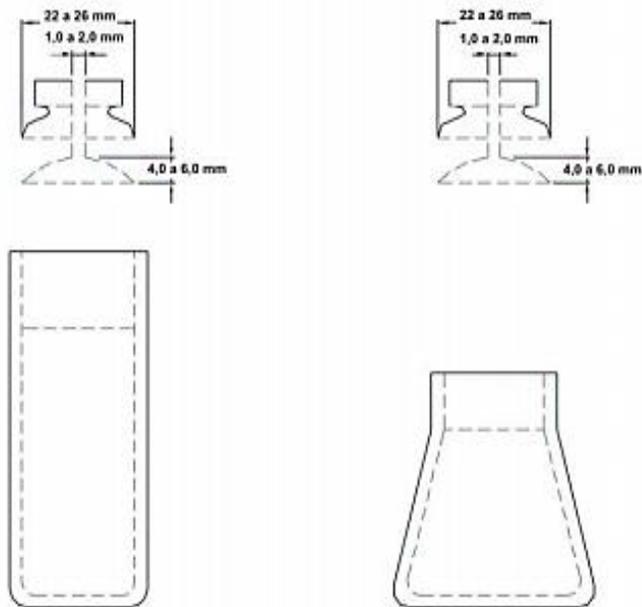
e) Informe

El informe debe incluir:

La densidad, aproximada a 1 (kg/m<sup>3</sup>)

La temperatura de ensaye.

ESQUEMA ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. 4



Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

## ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS

Los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto se obtuvo el material pétreo está situado en la comunidad de La Pintada, donde se encuentra ubicada una chancadora para la provincia de material para la Alcaldía de Municipio de Tarija de la Provincia Cercado. Los ensayos para clasificar la calidad del producto, los más importantes son:

### Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 AASHTO T88)

#### a) Objeto

Este método permite, mediante tamizado, determinar la distribución por tamaños de las partículas mayores que 0.075 mm, de una muestra de suelo.

#### b) Equipo y materiales

#### Balanza

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente donde se va a pesar, la precisión debe de ser de 0.1 g para muestras menores que 1000 g y de 1 g para muestras mayores que 1000 g.

#### Tamices

Deben ser tejidos, de alambre, abertura cuadrada, tensados. Los tamaños nominales de las aberturas pertenecen a la serie que se indica en la Tabla.

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el

Tamaño nominal de abertura	
(mm)	ASTM
75	(3")
63	(2 ½")
50	(2")
37,5	(1 ½")
25	(1")
19	(¾")
9,5	(3/8")
4,75	(N° 4)
2	(N° 10)
0,425	(N° 40)
0,075	(N° 200)

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

**Marcos**

Metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Serán circulares, con diámetros de 200 mm y preferentemente de 300 mm para suelos gruesos.

**Depósito receptor**

Cada juego de tamices estará provisto de un depósito que ajuste perfectamente para la recepción del residuo más fino.

**Tapa**

Cada juego de tamices estará provisto de una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material y marcada con tres diámetros que formen ángulos de 60° entre sí.

**Horno****Mortero**

Con triturador de caucho para disgregar las partículas aglomeradas, sin reducir el tamaño de los granos individuales.

**c) Preparación de la muestra**

Homogeneizar cuidadosamente el total de la muestra de terreno en estado húmedo; luego reducir por cuarteo, para obtener, cuando esté seca, una cantidad de material ligeramente superior a la Tabla #10, de acuerdo al tamaño máximo absoluto. Luego soltar el fino adherido a la grava y arena, si es necesario con agua, y deshacer los terrones con los dedos. Secar la muestra obtenida hasta masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C; si se detecta presencia de materia orgánica, secar la muestra en el horno a  $60 \pm 5$  °C.

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..15  
Cantidad mínima de muestra para granulometría según tamaño máximo absoluto

Tamaño máximo absoluto (mm)	Cantidad mínima de muestra a extraer en terreno (kg)	Cantidad mínima de muestra para el ensayo (kg)
5	2	0.5
10	8	2
20	20	5
25	40	10
50	60	15
80	80	20
100	120	30
150	160	40

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

d) Procedimiento

1. Pesarse toda la muestra con aproximación a 1 g registrar como A.
2. Cortar todo el material en el tamiz correspondiente al Tamaño Máximo Absoluto especificado; determinar la masa de las fracciones sobre y bajo dicho tamaño con aproximación a 1 g y registrar como B y Z, respectivamente.
3. Medir y registrar el Tamaño Máximo Absoluto del material de la fracción B, determinar en el paso anterior.
4. Cortar todo el material registrado como Z en tamiz 4.75 (N°4) y determinar las masas, con precisión a 1 g, de la fracción que pasó y de la que quedó retenida en dicho tamiz. Registrar como C y D respectivamente.
5. Colocar el material retenido de 5 mm (D) en un recipiente de lavado y agregar agua potable en cantidad suficiente para cubrir la muestra. Proceder a lavar el material siguiendo los siguientes pasos:

Agitar la muestra con el agua de modo de separar el material fino, dejándolo en suspensión o en disolución.

Vaciar inmediatamente el agua con el material fino (en suspensión o en disolución) de los tamices N°4 (4.75 mm) y N°200 (N°0.075 mm), dispuestos en forma decreciente.

Agregar nuevas cargas de agua y repetir la operación hasta que el agua agitada con la muestra permanezca limpia y clara.

Reunir el material retenido en los tamices con el material decantado en el recipiente de lavado.

Secar el material reunido hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

Pesar y registrar la masa lavada y seca como D'.

6. Tamizar el material registrado como D' a través de la serie de tamices 150 mm (6"), 100 mm (4"), 50 mm (2"), 37.5 mm (1 ½"), 25 mm (1"), 19 mm (¾"), 9.5 mm (3/8") y 4.75 mm (N°4). Efectuar este tamizado en dos etapas; un tamizado inicial, que podrá ser manual o mecánico, y un tamizado final que deberá ser manual.

#### Tamizado inicial

Vaciar el material registrado como D' sobre el tamiz superior de la serie de tamices y cúbralo con la tapa y fondo.

Agitar el conjunto de tamices durante un lapso mínimo de 5 min.

#### Tamizado final

Retirar el primer tamiz provisto de depósito y tapa.

Sostener con las manos, manteniéndolo ligeramente inclinado.

Agitar con movimientos horizontales y verticales en forma combinada, girando el tamiz en forma intermitente. Esta operación debe durar al menos 1 min.

Pesar y registrar el material retenido sobre el tamiz.

Trasladar el material contenido en el depósito al tamiz siguiente.

Repetir las operaciones descritas en los pasos anteriores hasta completar todos los tamices.

Pesar y registrar la masa final del residuo contenido en el depósito.

7. Del material bajo 5 mm tomar por cuarteo una muestra de 500 a 1000 g, y registrar su masa como C'. Lavar cuidadosamente con agua potable el material sobre tamiz 0.075 mm (N°200); vaciar en un bol el material retenido en tamiz 0.075 mm (N°200) y secar hasta masa constante a  $110 \pm 5$  °C.
8. Pesar y registrar el material lavado y seco como C'', aproximando a 0.1 g.
9. Tamizar el material preparado de acuerdo a g., según procedimiento descrito en f., a través de la serie de tamices: 2 mm (N°10), 0.425 mm (N°40) y 0.075 mm (N°200).
10. Determinar la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz 0.075 mm (N°200), recogido en el depósito. Registrar como Mi, con aproximación a 0.1 g.
11. La suma de todas las masas no debe diferir en más de 3% para el material bajo 5mm, ni en más de 0.5% para material sobre 5mm, respecto de las masas registradas como C' y D', respectivamente. Caso contrario repetir ensayo.

e) Cálculos

Calcular el porcentaje de sobre tamaño, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$ST = \frac{B}{A} * 100(\%)$$

Donde:

B = Masa de material sobre el Tamaño Máximo Absoluto especificado

A = Masa de muestra total

Calcular el porcentaje retenido en el tamiz i del material sobre 4.75 mm, de acuerdo a la siguiente ecuación

$$Ri = \frac{Mi}{C + D} * 100(\%)$$

Donde:

Mi = Masa retenida en el tamiz i del material sobre 4.75 mm

C = Masa de la fracción bajo 4.75 mm.

D = Masa de la fracción bajo 4.75 mm.

$$Ri = C * \frac{Mi}{C(C + D)} * 100(\%)$$

Calcular el porcentaje retenido en el tamiz i del material bajo 4.75 mm, de acuerdo a la siguiente ecuación.

Donde:

Mi = Masa retenida en el tamiz i del material bajo 4.75 mm.

C = Masa de la fracción bajo 4.75 mm.

C' = Masa de muestra reducida por cuarteo de la fracción bajo 4.75mm

D = Masa de la fracción bajo 4.75 mm.

Expresar la granulometría como porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz, indicar como primero resultado el del menor tamiz en que pasa el 100%, y expresar el resultado para los siguientes tamices como la diferencia entre el porcentaje que pasa en el tamiz inmediatamente anterior al de cálculo y el retenido en el tamiz de cálculo. Aproximar los porcentajes que pasan al entero más cercano.

Los resultados de la granulometría pueden expresarse en forma gráfica en un sistema de coordenadas ortogonales; en las abscisas, a escala logarítmica, se indican las aberturas de los tamices y en las ordenadas, a escala lineal, los valores de los porcentajes que pasan en cada tamiz.

En la Figura se incluye un formato tipo de ficha de ensaye para el registro de los resultados obtenidos.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..18 Formulario tipo, análisis granulométrico

Proyecto \_\_\_\_\_ Trabajo No. \_\_\_\_\_  
 Localización del proyecto \_\_\_\_\_ Perforación No. \_\_\_\_\_ Muestra No. \_\_\_\_\_  
 Descripción del suelo \_\_\_\_\_  
 Realizado por \_\_\_\_\_ Fecha de la practica \_\_\_\_\_

Tamaño de la Muestra de Suelo

Diámetro nominal de la partícula mayor	Peso mínimo aproximado de muestra, g
Tamiz de 2 mm (No. 10)	200
Tamiz de 4,75 mm (No. 4)	500
Tamiz de 19 mm (3/4')	1500

Peso de la muestra seca + recipiente	
Peso del recipiente	
Peso de la muestra seca, $W_s$	

Análisis por tamizado y forma de granos

Tamaño nominal del tamiz		Peso retenido	% retenido	% que pasa
(mm)	Alternativo			

$\% \text{ que pasa} = 100 - \sum \% \text{ retenido}$ .

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

**Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM E 127 AASHTO T85-91)**

a) Objeto

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos. Es aplicable a los áridos gruesos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m<sup>3</sup>, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

b) Definición

Árido grueso: material árido retenido en el tamiz de 4.75 mm (N°4) en el caso de suelos y hormigones, y en el tamiz de 2.36 mm (N°8) cuando se utiliza en asfaltos.

Huecos: espacios vacíos entre las partículas de un material árido.

Poros: espacios vacíos interiores de una partícula de material árido

    Poro accesible: poro permeable o abierto.

    Poro inaccesible: poro impermeable o cerrado.

Densidad ( $\rho$ ): Es el cociente entre la masa ( $m$ ) y el volumen ( $v$ ) de un material pétreo a una temperatura especificada. Se expresa en kg/m .

Densidad real ( $\rho_R$ ), es en la que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido, más el volumen de los poros accesibles a inaccesibles de esas partículas.

Densidad real del árido seco ( $\rho_{RS}$ ), en la que se considera solamente la masa del árido seco.

Densidad real del árido saturado superficialmente seco ( $\rho_{RT}$ ), en la que se considera la masa del árido seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.

Densidad neta ( $\rho_N$ ), en la que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles.

Absorción de agua ( $\alpha$ ): masa de agua necesaria para llevar un material árido del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa del pétreo seco.

Árido seco: material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 h de secado a  $110 \pm 5$  °C, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0.1% de la menor masa determinada.

c) Equipo y materiales

### **Balanza**

De capacidad superior a la masa del canastillo porta muestra más la masa de la muestra de ensaye y una precisión mínima de 1 g.

### **Horno**

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

### **Canastillo porta muestra**

De alambre de hacer inoxidable lo suficientemente resistente para soportar el peso de la muestra, con malla de abertura igual o inferior que 2 mm y de capacidad igual o superior a 4 l. Además, debe estar provisto de un dispositivo que permita suspenderlo del platillo de la balanza.

### **Estanque**

Impermeable, inoxidable, de forma y capacidad tal que permita contener totalmente y con holgura el canastillo porta muestra, de acuerdo con el procedimiento especificado en este método.

## Recipientes

Deben estar limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra de ensaye.

### d) Extracción y preparación de la muestra

#### Tamaño de la muestra de ensaye

La cantidad mínima de muestra para el ensayo se determina según la Tabla, en función del tamaño máximo nominal del árido.

#### Preparación de la muestra

Se puede emplear el material proveniente del ensaye tamizado, debidamente homogeneizado.

Eliminar por tamizado las partículas inferiores a 2.36 mm en caso de asfaltos.

Secar la muestra hasta masa constante en un horno a  $110 \pm 5$  °C.

Enfriar la muestra al aire a temperatura ambiente por un período de  $24 \pm 4$  h.

Sumergir la muestra en agua a temperatura ambiente por un período de  $24 \pm 4$  h.

### e) Procedimiento

Efectuar las siguientes pesadas a la muestra de ensaye:

Retirar la muestra de agua y secar superficialmente las partículas, haciéndolas rodar sobre un paño absorbente húmedo hasta que desaparezca la película visible de agua adherida. Secar individualmente las partículas mayores manteniendo el árido, ya secado superficialmente, cubierto por el paño hasta el momento de pesar, realizar todo en el menor tiempo posible.

Determinar inmediatamente la masa del pétreo saturado superficialmente seco, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registrar su valor como MSSS.

Colocar la muestra inmediatamente en el canastillo porta muestra

Sumergir el canastillo en agua de  $20 \pm 3$  °C, por un período de al menos de 3 min.

Determinar la masa sumergida, aproximando a 1 g, registrar su valor como MSUM.

Retirar la muestra de canastillo y vaciar completamente del recipiente, cuidando de no dejar partículas atrapadas.

Secar la muestra hasta masa constante en un horno a  $110 \pm 5$  °C

Enfriar la muestra hasta temperatura ambiente, en lo posible dentro de un recipiente protegido, para evitar la absorción de humedad del aire.

Determinar la masa de la muestra seca, registrar su valor como MS.

Determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un árido como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

Expresar las densidades en  $\text{kg/m}^3$ , aproximando a 1  $\text{kg/m}^3$ . Expresar la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

#### f) Precisión

Acepte la determinación densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos gruesos, cuando la diferencia entre valores obtenidos de los ensayos realizados por uno o más laboratoristas, sea:

Igual o inferior que  $20 \text{ g/m}^3$  en la determinación de densidades.

Igual o inferior que 3 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

### **2.8.3. Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM E 128 AASHTO T84-00)**

#### a) Objeto

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos.

Es aplicable a los áridos finos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m<sup>3</sup>, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

#### b) Equipo y materiales

##### **Balanza**

De capacidad superior a 1 kg y una precisión mínima de 1 g.

##### **Horno**

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

##### **Recipientes**

Deben estar limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra de ensaye

##### **Matraz**

Es un matraz aforado en el que se pueda introducir fácilmente la muestra de ensaye. Debe llevar una marca de calibración que indique el volumen contenido con una precisión de  $\pm 0.1$  ml, dicho volumen excederá a lo menos en un 50% al volumen aparente de la muestra de pétreo fino. Es recomendable un matraz de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad. También puede emplearse un picnómetro.

**Molde**

Con forma tronco-cónica, de  $40 \pm 3$  mm de diámetro en la parte superior,  $90 \pm 3$  mm de diámetro en la parte inferior y  $75 \pm 3$  mm de altura, confeccionando con una plancha metálica de un espesor igual o superior que 0.8 mm.

**Pistón**

Es una varilla metálica, con unos de sus extremos de sección plana y circular, de  $25 \pm 3$  mm de diámetro. Debe tener una masa de  $340 \pm 15$  g.

## c) Extracción y preparación de la muestra

Tamaño de la muestra de ensaye

Para cada ensaye se usará una cantidad de árido fino superior a 50 g, inferior a 500 g.

Preparación de la muestra de ensaye

Cortar el material retenido en el tamiz 2.36 mm

Si la muestra de laboratorio contiene un porcentaje superior al 15% de material retenido sobre 2.36 mm, considerar como un integral y determinar los porcentajes de la fracción retenida y de la fracción que pasa respecto del total de dicha muestra.

Reducir por cuarteo, a una cantidad de árido de aproximadamente el doble del tamaño de muestra de laboratorio requerido.

Secar el árido en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

Cubrir el árido en su totalidad con el mínimo de agua a temperatura ambiente, necesaria para asegurar su saturación en un período de  $24 \pm 4$ h.

## d) Procedimiento

1. Eliminar paulatinamente el exceso de agua, evitando la pérdida de finos; revolver la muestra de forma frecuente asegurando un secado uniforme, hasta llevarla a su condición suelta.

2. Colocar el molde cónico sujeto firmemente contra una superficie lisa, plana y no absorbente, con su diámetro mayor hacia abajo, llenar con el árido en condición suelta en una capa y enrasar.
3. Compactar con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos sobre la superficie, en cada golpe dejar caer el pisón libremente desde una altura de 5 mm del árido.
4. Remover todo el material sobrante en la superficie, levantar el molde verticalmente, si hay humedad libre la muestra conservará la forma del cono; en este caso eliminar el exceso de humedad, repitiendo el procedimiento. Cuando al retirar el molde, el árido cae según su talud natural, será indicador que ha alcanzado la condición saturada superficialmente seca, en ese momento obtener el tamaño de la muestra requerida, pesar y registrar.
5. Colocar la muestra en el matraz y cubrir con agua a una temperatura de  $20 \pm 3$  °C, hasta alcanzar aproximadamente  $2/3$  del volumen del matraz, luego agitarlo para eliminar burbujas de aire, golpeándolo ligeramente contra la palma de la mano.
6. Dejar reposar durante 1 h manteniendo a una temperatura de  $20 \pm 3$  °C, a continuación, llenar con agua a  $20 \pm 3$  °C hasta la marca de calibración, agitar y dejar reposar un instante.
7. Medir y registrar la masa total del matraz con la muestra del ensaye y el agua (Mm).
8. Sacar la muestra del matraz, secar hasta masa constante en horno a  $110 \pm 5$  °C, dejar enfriar a temperatura ambiente; determinar y registrar la masa de la muestra en condición seca (ms).
9. Llenar el matraz solamente con agua a una temperatura  $20 \pm 3$  °C hasta la marca de calibración. Medir y registrar la masa del matraz con agua (Ma).

## e) Cálculos

Densidad real del árido saturado superficialmente seco ( $\rho_{RT}$ )

$$\rho_{RT} \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = \frac{M_{SSS}}{M_{SS} - M_{SUM}} * 1000$$

Densidad real del árido seco ( $\rho_{RS}$ )

$$\rho_{RS} \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = \frac{M_S}{M_{SSS} - M_{SUM}} * 1000$$

Densidad neta ( $\rho_N$ )

$$\rho_N \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = \frac{M_S}{M_S - M_{SUM}} * 1000$$

Absorción de agua ( $\alpha$ )

$$\alpha (\%) = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} * 1000$$

Donde:

P = Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)

$\alpha$  = Absorción (%)

M<sub>SUM</sub> = Masa del árido sumergida (g)

M<sub>SSS</sub> = Masa del árido saturado superficialmente seco (g)

M<sub>S</sub> = Masa del árido seco (g)

## Expresión de resultados

Determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un árido como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

Expresar las densidades en kg/m<sup>3</sup>, aproximando a 1 kg/m<sup>3</sup>. Expresar la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

f. Precisión

Acepte la determinación densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos gruesos, cuando la diferencia entre valores obtenidos de los ensayos realizados por uno o más laboratoristas, sea:

Igual o inferior q  $20\text{g/m}^3$  en la determinación de densidades.

Igual o inferior que 3 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

### **Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM E 128 AASHTO T84-00)**

#### a) Objeto

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos.

Es aplicable a los áridos finos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m<sup>3</sup>, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

#### b) Equipo y materiales

##### **Balanza**

De capacidad superior a 1 kg y una precisión mínima de 1 g.

##### **Horno**

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

##### **Recipientes**

Deben estar limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra de ensaye

##### **Matraz**

Es un matraz aforado en el que se pueda introducir fácilmente la muestra de ensaye. Debe llevar una marca de calibración que indique el volumen contenido con una precisión de  $\pm 0.1$  ml, dicho volumen excederá a lo menos en un 50% al volumen aparente de la muestra de pétreo fino. Es recomendable un matraz de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad. También puede emplearse un picnómetro.

##### **Molde**

Con forma tronco-cónica, de  $40 \pm 3$  mm de diámetro en la parte superior,  $90 \pm 3$  mm de diámetro en la parte inferior y  $75 \pm 3$  mm de altura, confeccionando con una plancha metálica de un espesor igual o superior que 0.8 mm.

**Pistón**

Es una varilla metálica, con unos de sus extremos de sección plana y circular, de  $25 \pm 3$  mm de diámetro. Debe tener una masa de  $340 \pm 15$  g.

## c) Extracción y preparación de la muestra

Tamaño de la muestra de ensaye

Para cada ensaye se usará una cantidad de árido fino superior a 50 g, inferior a 500 g.

Preparación de la muestra de ensaye

Cortar el material retenido en el tamiz 2.36 mm

Si la muestra de laboratorio contiene un porcentaje superior al 15% de material retenido sobre 2.36 mm, considerar como un integral y determinar los porcentajes de la fracción retenida y de la fracción que pasa respecto del total de dicha muestra. Reducir por cuarteo, a una cantidad de árido de aproximadamente el doble del tamaño de muestra de laboratorio requerido.

Secar el árido en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

Cubrir el árido en su totalidad con el mínimo de agua a temperatura ambiente, necesaria para asegurar su saturación en un período de  $24 \pm 4$ h.

## d) Procedimiento

1. Eliminar paulatinamente el exceso de agua, evitando la pérdida de finos; revolver la muestra de forma frecuente asegurando un secado uniforme, hasta llevarla a su condición suelta.
2. Colocar e molde cónico sujeto firmemente contra una superficie lisa, plana y no absorbente, con su diámetro mayor hacia abajo, llenar con el árido en condición suelta en una capa y enrasar.
3. Compactar con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos sobre la superficie, en cada golpe dejar caer el pisón libremente desde una altura de 5 mm del árido.

4. Remover todo el material sobrante en la superficie, levantar el molde verticalmente, si hay humedad libre la muestra conservará la forma del cono; en este caso eliminar el exceso de humedad, repitiendo el procedimiento. Cuando al retirar el molde, el árido cae según su talud natural, será indicador que ha alcanzado la condición saturada superficialmente seca, en ese momento obtener el tamaño de la muestra requerida, pesar y registrar.
5. Colocar la muestra en el matraz y cubrir con agua a una temperatura de  $20 \pm 3$  °C, hasta alcanzar aproximadamente  $2/3$  del volumen del matraz, luego agitarlo para eliminar burbujas de aire, golpeándolo ligeramente contra la palma de la mano.
6. Dejar reposar durante 1 h manteniendo a una temperatura de  $20 \pm 3$  °C, a continuación, llenar con agua a  $20 \pm 3$  °C hasta la marca de calibración, agitar y dejar reposar un instante.
7. Medir y registrar la masa total del matraz con la muestra del ensaye y el agua ( $M_m$ ).
8. Sacar la muestra del matraz, secar hasta masa constante en horno a  $110 \pm 5$  °C, dejar enfriar a temperatura ambiente; determinar y registrar la masa de la muestra en condición seca ( $m_s$ ).
9. Llenar el matraz solamente con agua a una temperatura  $20 \pm 3$  °C hasta la marca de calibración. Medir y registrar la masa del matraz con agua.

e) Cálculos

Densidad real del árido saturado superficialmente seco ( $\rho_{RT}$ )

$$\rho_{RT} \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = \frac{M_{SSS}}{M_a + M_{SSS} + M_m} * 1000$$

Densidad real del árido seco ( $\rho_{RS}$ )

$$\rho_{RS} \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = \frac{M_s}{M_a + M_{SSS} - M_m} * 1000$$

Densidad neta ( $\rho_N$ )

$$\rho_N \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = \frac{M_S}{M_a + M_S - M_m} * 1000$$

Absorción de agua ( $\alpha$ )

$$\alpha (\%) = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} * 1000$$

Donde:

$\rho$  = Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)

$\alpha$  = Absorción (%)

$M_m$  = Masa del matraz de la muestra más agua hasta la marca de calibración (g)

$M_{SSS}$  = Masa del árido saturado superficialmente seco (g)

$M_S$  = Masa del árido seco (g)

Expresión de resultados

La densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un árido fino se determinan como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

En el caso de un integral, la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos se calculan como el promedio ponderado de la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua, respectivamente, obtenidas mediante el ensaye por separado de sus dos fracciones, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

Densidad de la integral:

$$\rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{1}{100} * (\rho_r * P_r + \rho_p * P_p)$$

Absorción de agua de la integral:

$$\alpha (\%) = \frac{1}{100} * (\alpha_r * P_r + \alpha_p * P_p)$$

Donde:

$\rho$  = Densidad (real o neta) de la integral ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_r$  = Densidad (real o neta) de la fracción retenida ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_p$  = Densidad (real o neta) de la fracción que pasa ( $\text{kg/m}^3$ )

$P_r$  = Porcentaje en masa de la fracción retenida (%)

$P_p$  = Porcentaje en masa de la fracción que pasa (%)

$\alpha$  = Absorción de agua de la integral ( $\text{kg/m}^3$ )

$\alpha_r$  = Absorción de agua de la fracción retenida ( $\text{kg/m}^3$ )

$\alpha_p$  = Absorción de agua de la fracción que pasa ( $\text{kg/m}^3$ )

Expresar las densidades en  $\text{kg/m}^3$ , aproximando a 1  $\text{kg/m}^3$ , y la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

f) Precisión

Aceptar la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los áridos finos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas sea:

Igual o inferior que 20  $\text{g/m}^3$  en la determinación de densidades.

Igual o inferior que 4 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

**Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D2419)**

## a) Objeto

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4.75 mm (N°4).

## b) Equipo y materiales

**Probeta graduada**

De  $30 \pm 1$  mm de diámetro interior y aproximadamente 400 mm de alto, graduado en milímetros hasta una altura de 380 mm (o graduada en mililitros hasta una capacidad de 270 ml) y provisto de un tapón hermético de caucho (ver Figura18)

**Sifón**

Compuesto por los siguientes elementos:

Una varilla de bronce de 6 mm de diámetro y 450 de largo, con hilo en ambos extremos.

Un pie de bronce troncónico, de 25 mm de diámetro basal y 20 mm.

Un par de guías que mantengan centrada la varilla en el eje de la probeta.

Una sobrecarga cilíndrica de acero laminado en frío de 50 mm de diámetro y 53 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarla a la varilla. Esta sobrecarga debe ser rectificadas de modo que el conjunto de varilla, pie, guías y sobrecarga tenga una masa de  $1 \text{ kg} \pm 5 \text{ g}$ .

**Medida**

Un recipiente de  $85 \pm 5$  ml de capacidad.

**Tamiz**

De tela de alambre y abertura cuadrada, de 4.75 mm (N°4).

**Recipiente**

Estanco y de capacidad igual o mayor que 4 l para preparar el reactivo y la solución de ensaye.

**Agitador mecánico**

Con un desplazamiento horizontal de  $200 \pm 2$  mm y una velocidad de agitación de  $175 \pm 2$  ciclos/min

**Herramientas y accesorios**

Embudos, botellas para reactivos, regla de enrase, etc.

**Reactivos**

Solución base

Componentes:

240 g de cloruro de calcio anhidro, grado técnico.

1.085 g de glicerina farmacéutica.

25 g de formaldehído (solución 40% de volumen/volumen).

Preparación, disolver el cloruro de calcio en 1 l de agua destilada y filtrar. Agregar la glicerina y el formaldehído a la solución, mezclar bien y diluir a 2 l con agua destilada.

Solución de ensaye

Tomar 22.5 ml de la solución base y diluir a 1 l con agua destilada

c) Condiciones generales

Lugar de ensayo: debe estar libre de golpes o vibraciones que pueden alterar el periodo de decantación. Cuando se empleen probetas de acrílico deben protegerse de la luz solar directa.

d) Preparación de la muestra

Tamaño de la muestra de ensayo igual o mayor que 2000 g de material bajo 5 mm.

La muestra para cada ensayo debe ser igual a una medida llena enrasada ( $85 \pm 5$  ml)

Preparación de la muestra de ensayo

**Tamizado**

Pasar la muestra original en estado húmedo por el tamiz de 4.75 mm (N°4); disgregar manualmente los terrones de material arcilloso. Si el material retenido tiene adherido capas de material arcilloso, remover secando el material retenido y frotándolo entre las manos sobre un recipiente. El polvo resultante debe incorporarse a la muestra y el material retenido desecharse.

**Reducción**

Reducir por cuarteo hasta obtener material suficiente para llenar cuatro medidas.

**Secado**

Secar hasta masa contante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, dejar enfriar a temperatura ambiente.

## e) Procedimiento

1. Colocar la botella del sifón con la solución de ensaye a aproximadamente 1 m sobre la superficie de trabajo.
2. Sifonear la solución de ensaye en la probeta hasta que alcance un nivel de  $100 \pm 5$  mm.
3. Obtener por cuarteo el material suficiente para llenar una medida.
4. Llenar una medida, asentar el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo al menos 4 veces, enrasar y verter en la probeta.
5. Golpear firmemente el fondo de la probeta con la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire.
6. Dejar la probeta en reposo por un período de 10 min.
7. Colocar el tapón y soltar la arena del fondo inclinando y sacudiendo el tubo.
8. Agitar la probeta y su contenido ya sea de forma manual o mecánica.
9. Colocar la probeta sobre la mesa, destapar y lavar sus paredes interiores mediante el irrigador, introduciéndolo hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material.

10. Retirar el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 380 mm.
11. Dejar sedimentar por un período de 20 min  $\pm$  15 s; al pasar el tiempo determinado leer y registrar el nivel superior de la arcilla (Nt) aproximando al milímetro.
12. Introducir el pisón en la probeta y hacerlo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registrar el nivel superior de la arena (Na) aproximando al milímetro.

f) Cálculos

- Calcular el equivalente de arena de acuerdo a la siguiente fórmula, aproximando al 1 %

$$EA(\%) = \left( \frac{Na}{Nt} \right) * 100$$

Donde:

EA =Equivalente de arena (%)

Na = Nivel superior de la arena (mm)

Nt = Nivel superior de la arcilla (mm)

- Calcular el equivalente de arena de cada muestra como el promedio aritmético de los resultados de dos ensayos paralelos, con aproximación al 1% superior.

g) Precisión

Debe aceptarse la determinación del equivalente de arena solamente cuando la diferencia entre dos resultados obtenidos por el mismo operador, en ensayos paralelos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 4 puntos; caso contrario repetir el ensayo con muestras gemelas.

**FIGURA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..19 fig. 1

Probeta graduada, fig. 2 Sifón

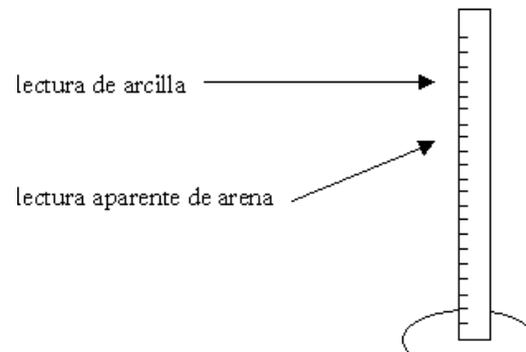


Fig. 1

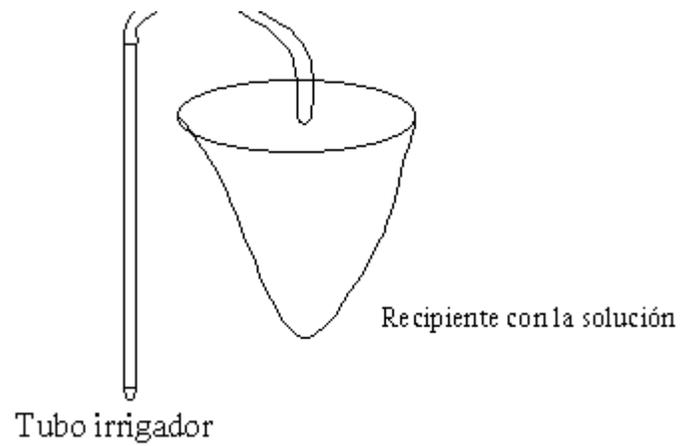


Fig.2

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

**Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles  
(ASTM E 131 AASHTO T96-99)**

a) Objeto

Este método o establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2.36 mm, de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m<sup>3</sup>, mediante la máquina de Los Ángeles.

b) Equipo y materiales

**Máquina de los ángeles**

Tambor de acero de  $710 \pm 6$  mm de diámetro interior y de  $510 \pm 6$  mm de longitud interior montado horizontalmente por sus vástagos axiales con una tolerancia de inclinación de 1 en 100, uno de los cuales debe tener un dispositivo de polea o similar, para acoplar una moto. En su manto cilíndrico debe tener una abertura para introducir la muestra, con una tapa provista de dispositivos para fijarla firmemente en su lugar y que asegure la estanqueidad del material sobre tamiz N°50 (0.3mm).

Debe llevar en su superficie interior una aleta consistente en una plancha de acero desmontable, fijada rígida y firmemente a todo lo largo de una generatriz del cilindro, de modo que se proyecte radialmente hacia el interior en  $90 \pm 3$  mm. La distancia entre la aleta y la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro y en la dirección de rotación, debe ser igual o mayor que 1.25m.

La rotación debe estar comprendida entre 30 y 33 rpm, ser contrapesada e impulsada de modo de mantener una velocidad

periférica uniforme y tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática.

### **Balanza**

Con una capacidad superior a 10 kg y una precisión de 1 g.

### **Tamices**

Deben cumplir con las especificaciones nombradas en el Método de Análisis granulométrico por tamizado, descrito anteriormente.

### **Horno**

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

### **Esferas (carga abrasiva)**

Un juego de esferas de acero de aproximadamente 47 mm de diámetro y de masas diferentes, distribuidas en un rango entre 390 y 445 g

- c) Extracción y preparación de la muestra

### **Preparación**

Determinar la granulometría de la muestra de acuerdo al Análisis granulométrico por tamizado, ya descrito.

### **Tamaño de la muestra**

El tamaño de la muestra (en kg) debe ser igual o mayor que  $2 D_n$  ( $D_n$  es el tamaño máximo nominal expresado en mm), y no menor que 50 kg para los grados 1 al 5 y 25 kg para los grados 6 y 7.

### **Acondicionamiento de la muestra de ensaye**

Lavar la muestra y secar hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

Tamizar la muestra usando los tamices de las siguientes aberturas: 75 mm, 63 mm, 50 mm, 37.5 mm, 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 6.3 mm, 4.75 mm y 2.36 mm. Dejar el material separado en las fracciones resultantes de este tamizado.

De la Tabla 12 elegir el grado de ensaye que mejor represente la granulometría de la muestra. Para ello, sumar los porcentajes parciales retenidos en los tamices correspondientes a cada uno de los grados y elegir para el ensaye el que entregue una mayor suma.

d) Procedimiento

1. Pesarse los tamaños de las fracciones correspondientes al grado elegido, registrar la masa del total de material por ensayar como masa inicial de la muestra ( $m_i$ ), aproximando a 1 g.
2. Colocar la masa inicial de material en la máquina de Los Ángeles y ensayar de acuerdo al grado elegido. Una vez terminado el número de revoluciones correspondiente, sacar el material de la máquina evitando pérdidas y contaminaciones.
3. Separar la carga abrasiva.
4. Efectuar un primer tamizado en un tamiz de 2.36 mm o superior, luego en un tamiz de 1.7 mm.
5. Reunir todo el material retenido en ambos tamices, lavar, secar hasta masa constante en horno a  $100 \pm 5$  °C y dejar enfriar a temperatura ambiente. Pesarse y registrar la masa del material retenido como masa final de la muestra ( $m_f$ ), aproximando a 1 g.

e) Cálculos

Calcular el desgaste del árido como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, aproximando a un decimal, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P(\%) = \frac{mi - mf}{mi} * 100$$

Donde:

P (%) = Pérdida de masa de la muestra (%)

mi = Masa inicial de la muestra (g)

mf = Masa final de la muestra (g)

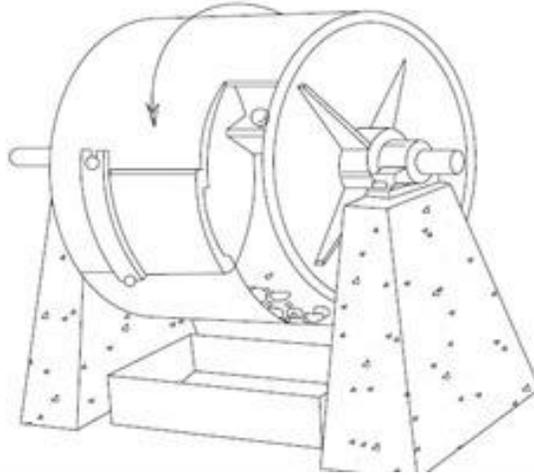
**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..16 Grados de ensayo (definidos por sus rangos de tamaño, en mm)

Tamaño de Partículas (mm)	1	2	3	4	5	6	7
	(80-40)	(50-25)	(40-20)	(40-10)	(20-10)	(10-5)	(5-2,5)
Tamaño de las fracciones (g)							
75 - 63	2.500 ± 50						
63 - 50	2.500 ± 50						
50 - 37,5	5.000 ± 50	5.000 ± 25					
37,5 - 25		5.000 ± 50	5.000 ± 25	1.250 ± 10			
25 - 19			5.000 ± 25	1.250 ± 25			
19 - 12,5				1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12,5 - 9,5				1.250 ± 25	2.500 ± 10		
9,5 - 6,3						2.500 ± 10	
6,3 - 4,75						2.500 ± 10	
4,75 - 2,36							5.000 ± 10
Masa inicial de muestra (Mi)	10.000 ± 100	10.000 ± 75	10.000 ± 50	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10
Esferas							
- número	12		12	11	8	6	
- masa (g)	5-00 ± 25		5.000 ± 25	4.584 ± 25	3.330 ± 25	2.500 ± 15	
Número de revoluciones	1.000			500			

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..20

Máquina de los Ángeles



Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia

## **DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE BETUMEN**

### **Diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall**

#### **Metodología**

El método de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar. El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½") y 102 mm (4") de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N

(lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60 °C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100") que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

### **Procedimiento e instrumentos para la realización del diseño Marshall**

El siguiente procedimiento será aplicado solamente a mezclas asfálticas en caliente para calcular en contenido óptimo de cemento asfáltico, preparadas con cemento asfáltico y agregados no mayores de 2.54 cm (1 pulg.), el diámetro del molde Marshall será de 101.6 mm (4 pulg.). Cuando el tamaño de la partícula excede los 2.5 cm (1 pulg.) se emplean moldes de 152.4 mm (6 pulg.), este procedimiento no es aplicable a ese tipo de muestras.

**Molde de Compactación.** Consiste de una placa de base plana, molde y collar de extensión cilíndricos. El molde tiene un diámetro interior de 101.6 mm (4") y altura aproximada de 76.2 mm (3"); la placa de base plana y el collar deben ser intercambiables.

**Martillo de compactación** con base plana circular de apisonado de 98.4 mm (3 7/8") de diámetro, equipado con un pisón de 4.54 kg (10 lb.) de peso total, cuya altura de caída es de 457.2 mm (18").

**Extractor de Muestras de Asfaltos:** para extraer el espécimen del molde, en forma de disco con diámetro de 100 mm (3.95") y 12.7 mm (1/2") de espesor.

**Soporte para molde o porta molde:** dispositivo con resorte de tensión diseñado para sostener rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal.

**Mordaza:** consiste de dos semi-cilindros, con un radio de curvatura interior de 50.8 mm (2") de acero enchapado para facilitar su fácil limpieza. El segmento inferior termina en una base plana con dos varillas perpendiculares que sirven de guía.

**Medidor de deformación:** consiste en un deformímetro dividido en centésimas de milímetro. Estará sujeto al segmento superior y cuyo vástago se apoyará, cuando se

realiza el ensayo, en una palanca ajustable acoplada al segmento inferior. Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.001 mm.

**Prensa:** para llevar a la falla a la muestra, será mecánica con una velocidad uniforme de 50.8 mm/min.

**Medidor de Estabilidad:** la resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 20 kN (2039 kgf) de capacidad, con una sensibilidad de 50 N (5 kgf) hasta 5 kN (510 kgf) y 100 N (10 kgf) hasta 20 kN (2 039 kgf). Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.001 mm.

Discos de Papel Filtrante de 4 pulg.

**Horno:** capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 3 °C (5 °F) se emplea para calentar los agregados, material asfáltico, conjunto de compactación y muestra.

**Baño:** de agua con 150mm (6") de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener la temperatura a  $60^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$  ( $140^{\circ} \pm 1.8^{\circ} \text{F}$ ), deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para mantener las probetas por lo menos a 50.8 mm (2") sobre el fondo del tanque.

Recipientes de dos litros de capacidad para calentar los agregados y para mezclar el asfalto y agregado.

**Tamices:** 25 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 12.5 mm (1/2"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (N° 4), 2.36 mm (N° 8), 300  $\mu\text{m}$  (N° 50) y 75  $\mu\text{m}$  (N° 200).

**Termómetros blindados:** de 10°C a 232°C (50°F a 450°F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 3°C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará termómetro con escala de 20°C a 70°C y sensibilidad de 0.2°C (68°F a 158°F + 0.4°F).

**Balanza:** para pesar agregado y asfalto de 5 kg. De capacidad, y sensibilidad de un 1 gr. Para pesar probetas compactadas de 2 kg. De capacidad y sensibilidad de 0.1 gr

### Márgenes aceptables de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa

La Tabla presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control.

#### Especificaciones de la metodología

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas. Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el

Método Marshall	Tráfico ligero		Transporte medio		Tráfico pesado	
	Carpetas y base					
Criterio de mezcla	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad. (N)	3336		5338		8006	
(lb)	750	----	1200	----	1800	----
Flujo (0.25 mm) (0.1 in)	8	18	8	16	8	14

Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales						
porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Fuente: Instituto de asfalto MS-22

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **18** Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3	4	5
1.18	N° 16	21.5	22.5	23.5
2.36	N° 8	19	20	21
4.75	N° 6	16	17	18
9.5	3/8	14	15	16
12.5	1/2	13	14	15
19	3/4	12	13	14
25	1	11	12	13
37.5	1.5	10	11	12

Fuente: Instituto de asfalto MS-22

### **ENSAYOS EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE BETUMEN (I.N.V.E. 732-07)**

Esta norma describe métodos para la determinación cuantitativa del Betumen en mezclas asfálticas en caliente y en muestras de pavimentos. Los agregados obtenidos mediante estos métodos se pueden emplear para análisis granulométrico y otro tipo de ensayos.

Este método no pretende dar directrices sobre aspectos de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien lo emplee, establecer las medidas de seguridad y salubridad apropiadas y determinar la aplicación de las limitaciones regulatorias antes de su empleo.

**Nota 1.-** Los resultados obtenidos con estos métodos se pueden afectar por la edad de los materiales ensayados; es así como las muestras más viejas tienden a producir contenidos ligeramente menores de asfalto. Se obtienen mejores resultados cuantitativos cuando el ensayo se efectúa sobre mezclas y pavimentos inmediatamente después de su preparación.

#### **Extractor centrifugo (Método A)**

- a) Equipo

Horno – Que pueda mantener la temperatura a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ , ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{F}$ ).

Recipiente plano – De tamaño apropiado, para calentar los especímenes.

Balanza – De capacidad suficiente y con aproximación mínima de 0.1% de la masa de la muestra.

Placa de calentamiento – Eléctrica, con velocidad de calentamiento ajustable.

Cilindros graduados – De 1000 o de 2000 ml de capacidad. Opcionalmente, un cilindro de 100 ml de capacidad.

Cápsula de porcelana – De 125 ml de capacidad.

Desecador.

Aparato de extracción – Consistente en una taza como la mostrada en la Figura 1 y un aparato en el cual se pueda rotar la taza a una velocidad variable y controlada hasta de 3600 rpm. El aparato debe estar provisto de un recipiente para recoger el solvente que escapa de la taza y un desagüe para remover dicho solvente. Es deseable que el aparato disponga de accesorios protectores contra explosiones y estar instalado bajo una campana o con un sistema de desfogue superficial efectivo para asegurar la ventilación.

Anillos filtrantes – De fieltro o de papel, para colocar sobre el borde de la taza.

b) Procedimiento:

1. Se determina el peso del testigo.
2. Colocar el testigo de ensayo en una fuente y se cubre con gasolina, dejar el tiempo suficiente para que el disolvente desintegre el testigo (no más de 1 hora).
3. Se coloca la fuente que contiene el testigo de ensayo y el solvente en el aparato de extracción.
4. Secar a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$  ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{F}$ ) y se determina la masa del anillo filtrante y se ajusta alrededor del borde de la taza. Se aprieta la tapa firmemente sobre la taza y se coloca un recipiente apropiado bajo el desagüe, para recoger el extracto.

5. Iniciar la centrifugación girando lentamente y aumentando gradualmente la velocidad hasta un máximo de 3600 rpm, hasta que deje de fluir la gasolina por el desagüe. Se detiene la máquina y se agregan 200 ml (o más, según sea apropiado para la masa de la muestra) del solvente empleado en nuestro caso gasolina, y se repite el procedimiento.
6. Se deben emplear suficientes adiciones de gasolina (no menos de tres), hasta que el extracto no sea más oscuro que un color ligero de paja. Se recogen el extracto y las lavaduras en un recipiente apropiado, para determinar la materia mineral.
7. Transferir cuidadosamente el anillo filtrante y todo el agregado de la taza de la centrífuga a un recipiente metálico tarado. Se seca al aire bajo una campana hasta que se disipen los vapores y luego en un horno a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta masa constante. La masa del agregado extraído (W 3) es igual a la masa del contenido en el recipiente menos el peso seco inicial del anillo filtrante. Se desprende la materia mineral adherida a la superficie del anillo filtrante y se añade al agregado extraído para los ensayos posteriores.

**FIGURA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..21 Taza de la unidad de extracción



c) Cálculo del contenido de asfalto

Se calcula el porcentaje de asfalto en la porción de ensayo, en la siguiente forma:

$$\text{Contenido de asfalto \%} = \frac{(W1-2)-(W3-W4)}{(W1-QW2)} * 100$$

Donde:

W1 = Masa de la porción de ensayo

W2 = Masa del agua en la porción de ensayo W3 = masa del agregado mineral extraído

W4 =Masa de la materia mineral en el extracto.

**Extractor de vacío (Método E)**

a) Equipo

Horno – Que pueda mantener la temperatura a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$ , ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{ F}$ ).

Recipiente plano – De tamaño apropiado, para calentar los especímenes.

Balanza – De capacidad suficiente y con aproximación mínima de 0.1% de la masa de la muestra.

Placa de calentamiento – Eléctrica, con velocidad de calentamiento ajustable.

Cilindros graduados – De 1000 o de 2000 ml de capacidad. Opcionalmente, un cilindro de 100 ml de capacidad.

Cápsula de porcelana – De 125 ml de capacidad.

Desecador.

Extractor de vacío – Completo, con bomba de vacío, empaque, tubería de caucho, papel filtro, placa de soporte y anillo tubular. Diseños como los de las figuras 4.a, 4.b y 4.c ó similares, son apropiados para éste método.

Papel Filtro – De grado mediano y filtrado rápido, de 330 mm (13”) de diámetro.

Recipiente para la muestra – De 3.8 litros o más de capacidad.

Dos frascos Erlenmeyer – De vidrio y con capacidad de 4000 ml cada uno.

Vaso graduado – De 500 ml de capacidad.

Botella para lavado – Plástica, con capacidad de 500 ml.

Termómetro de carátula – Con un rango de lectura entre 10° y 82°C (50° – 180°F).

Cuchara para mezclado – De unos 300 mm (12”) de largo.

Cepillo de cerdas rígidas – De unos 25 mm (1”) de ancho.

Frasco Erlenmeyer – De vidrio y capacidad de 1000 ml.

Vidrio de reloj – De unos 100 mm (4”) de diámetro.

Tenazas metálicas – De 150 a 200 mm (6 a 8”) de largo.

## b) Procedimiento

1. Se determina el contenido de humedad de la mezcla asfáltica en caliente,
2. Se coloca la porción destinada a la prueba de extracción en un vaso de precipitaciones metálico, tarado y se determina su masa.
3. Si la porción de ensayo se encuentra a más de 54° C (130° F), se permite que se enfríe por debajo de esta temperatura. Cuando se encuentre suficientemente fresca, se añaden unos 700 ml del thinner y se agita hasta que se aprecie que el ligante asfáltico está en solución
4. Se seca el papel filtro (se puede usar más de uno) hasta masa constante en un horno a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  y luego se coloca sobre el extractor, teniendo el cuidado de centrarlo y de apretar con firmeza las tuercas de mariposa.
5. Se inicia el vacío y se decanta lentamente la solución con el extracto desde el recipiente que contiene la muestra hacia el filtro. Cuando se ha removido toda la solución del papel filtro, el vacío se puede detener o se puede dejar en funcionamiento.
6. La muestra que permanece en el recipiente se cubre con más reactivo (700 ml). Se agita suavemente hasta que se advierte que el betumen y las partículas finas se encuentran en suspensión (o se pone en funcionamiento el limpiador de ultrasonido si se va a trabajar con él) y se repite el procedimiento descrito en el párrafo anterior.
7. Lo que se acaba de describir se reitera hasta que la solución adquiere un color pajizo ligero y el agregado se ve limpio. El flujo del solvente puede ser aminorado para permitir la observación del color, abriendo parcialmente la válvula de vacío y reduciendo el vacío.
8. Se raspa el agregado del lado del anillo tubular, dirigiéndolo hacia el centro del filtro para evitar pérdidas cuando se remueva el anillo. También se deben lavar los lados del anillo, para remover los finos adheridos a él.
9. Se detiene el vacío, se remueve el anillo y se cepilla el agregado pagado a él, dentro del recipiente de secado tarado. A continuación, se recoge el papel filtro con el agregado que continúe, doblando el papel de extremos opuestos y levantándolo derecho hacia arriba.

10. El agregado que se encuentra sobre el filtro se transfiere entonces al recipiente de secado y se cepilla el filtro sobre el recipiente con el fin de remover las partículas adheridas a él. De manera alternativa, el agregado y el filtro se pueden colocar en recipientes separados o el agregado se coloca en un recipiente y el filtro se deposita sobre él. En cualquier caso, se debe tener cuidado para asegurar que todos los rastros de agregados en la muestra de ensayo sean transferidos al recipiente(s) de secado.
11. Se secan el agregado extractado y el filtro hasta masa constante, en un horno a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$ .
12. Se determinan las masas del filtro y del agregado en el recipiente(s) y se anotan. Se restan las masas del filtro y del recipiente(s) para obtener la masa del agregado extraído.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..22

Extractor de vacío



### Extractor de reflujo (Método B)

#### a) Equipo

Horno – Que pueda mantener la temperatura a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$ , ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{ F}$ ).

Recipiente plano – De tamaño apropiado, para calentar los especímenes.

Balanza – De capacidad suficiente y con aproximación mínima de 0.1% de la masa de la muestra.

Placa de calentamiento – Eléctrica, con velocidad de calentamiento ajustable.

Cilindros graduados – De 1000 o de 2000 ml de capacidad. Opcionalmente, un cilindro de 100 ml de capacidad.

Cápsula de porcelana – De 125 ml de capacidad.

Desecador.

Aparato de extracción – Similar al que se muestra en la Figura 2.

Jarra de vidrio – Cilíndrica, lisa, hecha de vidrio resistente al calor. La jarra deberá estar libre de grietas, rayones u otra evidencia de imperfecciones, que puedan causar su rotura durante el calentamiento.

Marcos cilíndricos de metal – Uno o dos; el marco inferior deberá tener patas de suficiente longitud para soportarlo, incluyendo el ápice del cono metálico y el alineador del cono de papel por encima del nivel del solvente. Cuando se emplean dos marcos, el superior deberá tener patas de suficiente longitud para sostener el cono de metal y el alineador del cono de papel, en o por encima del borde superior del marco inferior. Las patas del marco superior deberán ajustar firmemente en el borde superior del marco inferior. Se deberá proveer un asidero semicircular sobre la parte interior del borde superior de cada marco, para el conveniente manipuleo. El metal empleado en la fabricación de los marcos deberá ser esencialmente no reactivo a los solventes empleados en el ensayo.

Condensador - Fabricado con una superficie condensadora semiesférica truncada y una parte superior cónica truncada. Se pueden usar también otras formas geométricas adecuadas, con tal de que cumplan con las funciones propuestas para la condensación y flujo. El material empleado para fabricar el condensador deberá ser esencialmente

no reactivo al agua y al solvente utilizado, y deberá disponer de una admisión y un desagüe adecuados para el agua.

Filtro de papel – De grado mediano, de filtrado rápido; el diámetro del papel deberá ser tal, que cuando se doble de acuerdo con las instrucciones dadas más adelante, revista completamente los conos de metal en los marcos.

Almohadilla protectora – De aproximadamente 3 milímetros de espesor, para emplear como aislamiento entre la jarra de vidrio y las placas de calentamiento.

Placa eléctrica de calentamiento – Controlada termostáticamente, de dimensiones suficientes y capacidad calorífica que permita el reflujo del solvente como se describe más adelante.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el



b) Procedimiento

1. Determinar el peso del testigo.

2. Determinar la masa de una hoja de papel de filtro para cada marco que se vaya a emplear. Se dobla cada papel por su diámetro, sobre los extremos y se extiende abierto para que forme un tamaño apropiado que encaje dentro de los conos metálicos.
3. Se coloca el testigo de ensayo en el marco o marcos. Si se van a usar los dos marcos, se distribuye la porción de ensayo aproximadamente por igual entre los dos. La parte superior de la porción de ensayo debe estar por debajo del borde superior del revestimiento de papel. Se determina la masa de cada marco cargado, separadamente y con aproximación de 0.5 g. Se anotan dichas masas.
4. Se vierte gasolina dentro del cilindro de vidrio y colocar el marco inferior dentro del cilindro. El nivel del disolvente debe estar por debajo del vértice del cono en el marco inferior. Si se emplean dos marcos, se coloca el superior sobre el inferior, ajustando sus patas dentro de los huecos en el borde superior del marco inferior.
5. Si fuera necesario, se coloca la almohadilla térmica aislante sobre la placa de calentamiento y luego el cilindro sobre la almohadilla. Se cubre el condensador. Se hace circular una corriente suave y uniforme de agua fría a través del condensador. Se ajusta la temperatura de la placa de calentamiento de tal manera que el solvente condensado fluya dentro del cono. Si es necesario, se ajusta la temperatura de la placa de calentamiento para mantener la corriente del solvente a la rata necesaria para mantener las porciones de ensayo en el cono o en los conos completamente cubiertas con el solvente condensado.
6. Se debe tener cuidado de no permitir que el solvente condensado rebose el cono(s) filtrante(s). Se continúa el reflujo hasta que el flujo de solvente del cono inferior sea de color ligeramente pajizo (cuando se vea contra un fondo blanco). En este punto, se desconecta la placa de calentamiento y se deja enfriar el aparato lo suficiente para poderlo coger con la mano, cerrando a continuación el condensador y removiendo del cilindro.
7. Se remueve del cilindro el conjunto del marco. Se deja secar en el aire (cubierto) y luego hasta masa constante en el horno a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$  ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{ F}$ )

8. Se determina el material mineral en la solución de extracción mediante uno de los procedimientos dados en la Sección 10.

c) Cálculo del contenido de asfalto

Se calcula el porcentaje de asfalto en la porción de ensayo, en la siguiente forma:

$$\text{Contenido de asfalto \%} = \frac{(W1-2)-(W3-W4)}{(W1-QW2)} * 100$$

Donde:

W1 = Masa de la porción de ensayo

W2 = Masa del agua en la porción

W3 = Masa del agregado mineral extraído

W4 = Masa de la materia mineral en el extracto.

### **Reactivos para los métodos de extracción**

- Solución saturada de carbonato de amonio  $[(\text{NH}_4)_2 \text{CO}_3]$ , químicamente puro.
- Cloruro de Metileno, químicamente puro (Véase la Sección 6 para precauciones).
- Bromuro de n-propilo, conforme con la norma ASTM D6368.
- Tricloroetileno, de grado reactivo o conforme con la norma ASTM D4080.
- Terpeno. - Debe ser no halogenado, no tóxico y debe disolver rápidamente el contenido de asfalto de HMA y colocarlo en solución. Este extractante, debe ser fácilmente enjuagado del agregado remanente sin que se forme un gel y el enjuague debe pasar fácilmente a través de la tierra diatomácea y el filtro.
- El diluyente (thinner en inglés), es una mezcla de disolventes de naturaleza orgánica derivados del petróleo que ha sido diseñado para disolver, diluir sustancias insolubles en agua, como la pintura de esmalte o basada en aceites, los aceites y las grasas.
- La gasolina es un combustible líquido que se obtienen del fraccionamiento del petróleo. Tienen componentes hidrocarbonados de C4 a C10 y una temperatura

de destilación de entre 30 y 200°C. Los principales componentes que presenta son un amplio grupo de compuestos hidrocarbonados, cuyas cadenas contienen hasta 10 átomos de carbono.

**Nota 1.-** Se puede requerir tricloroetileno grado reactivo cuando se recobre el asfalto a partir de la solución.

**Nota 2.-** Cuando se use terpeno, solamente se pueden usar hornos ventilados.

### **Precauciones para la determinación del uso de los tres métodos**

Los solventes indicados se deberán emplear tan sólo bajo una campana con un sistema de desfogeo superficial efectivo en un área bien ventilada, ya que todos son tóxicos en algún grado.

El tricloroetileno, el bromuro de n -propilo y el cloruro de metileno pueden formar ácidos en presencia de calor y humedad, los cuales son extremadamente corrosivos para ciertos metales, particularmente cuando se mantienen en contacto durante períodos prolongados. Deberá evitarse que estos solventes permanezcan en pequeñas cantidades en los tanques afluentes de los extractores de aluminio al vacío.

Cuando se almacena tricloroetileno en un recipiente de acero y se halla en contacto continuo con la humedad, se puede descomponer por deshidrohalogenación para formar líquidos hidrocarbonados no saturados y cloruro de hidrógeno. Los tambores de acero que contengan tricloroetileno se deberán almacenar en un sitio fresco y seco, y se deberán mantener herméticamente sellados y abrirse con la menor frecuencia posible. El tricloroetileno deberá transferirse de los tambores a botellas de vidrio carmelitas y limpias para uso en el laboratorio. El cloruro de hidrógeno en el tricloroetileno descompuesto puede endurecer un asfalto durante la extracción y la recuperación de la prueba de Abson.

### **Precisión y sesgo para los métodos de extracción**

- Mezclas con agregados cuya absorción es menor a 1.25%:

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**19**  
Desviación estándar y rango aceptable para una absorción menor a 1.25%

Condiciones y tipo de ensayo	Desviación estándar	Rango aceptable entre 2 resultados
<b>Precisión de un solo operador</b>		
Método A (centrífugo)	0.21	0.59
Método B, C y D (reflujo)	0.19	0.54
Método E (vacío)	0.21	0.59
<b>Precisión entre varios laboratorios</b>		
Método A (centrífugo)	0.22	0.62
Método B, C y D (reflujo)	0.23	0.65
Método E (vacío)	0.22	0.59

Fuente: Norma I.N.V. E – 732 – 07

- Mezclas con agregados cuya absorción es mayor a 2.5%:

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**20**  
Desviación estándar y rango aceptable para una absorción mayor a 2.5%

Condiciones y tipo de ensayo	Desviación estándar	Rango aceptable entre 2 resultados
<b>Precisión de un solo operador</b>		
Método A (centrífugo)	0.3	0.85
Método B, C y D (reflujo)	0.19	0.54
Método E (vacío)	0.27	0.76
<b>Precisión entre varios laboratorios</b>		
Método A (centrífugo)	0.37	1.05
Método B, C y D (reflujo)	0.37	1.05
Método E (vacío)	0.29	0.85

Fuente: Norma I.N.V. E – 732 – 07

**Nota 1:** las declaraciones sobre precisión se basan en ensayos por duplicado sobre una sola mezcla realizados por 112,42 y 30 laboratorios para el centrífugo, el reflujo y el vacío respectivamente.

**Nota 2:** una evaluación estadística indicó que no había diferencias de precisión al usar diferentes solventes. Por lo tanto, los resultados son válidos para los ensayos realizados.

#### **Método de extracción de testigos en pavimentos terminados (I.N.V. E – 758 – 07)**

- a) Objetivo

Esta norma establece el procedimiento para extraer muestras cilíndricas de pavimentos de concreto hidráulico y de concreto asfáltico (base asfáltica, concreto de base y concretos de rodadura) así como de estructuras, tales como puentes, obras de arte, soleras y muros de contención, entre otros, para la realización de ensayos que permitan verificar el cumplimiento de especificaciones.

b) Equipo

Broca – Dispositivo metálico construido en acero, de forma tubular, con corona de corte diamantada y habitualmente refrigeradas por agua, que se emplea para cortar testigos. Existen de diferentes diámetros y longitudes, para diversos usos y requerimientos. Para pavimentos, las más utilizadas son las de diámetro de 102 mm (4”) y 152 mm (6”).

Máquinas motorizadas para extracción de testigos – Existen dos categorías de equipos para la extracción de testigos, se diferencian por su peso, potencia, rendimiento y maniobrabilidad.

Equipos de Alto Rendimiento – Corresponden a equipos de gran peso y potencia, montados sobre un carro para transporte y que incluyen un sistema hidráulico con dispositivo de fijación que se adosan a la superficie para darle al equipo la adecuada estabilidad. Disponen de una bomba y un estanque de agua, lo que les da gran autonomía, permitiendo una alta velocidad y calidad de corte (Ver Figura 1). Es conveniente que estos equipos cuenten con un sistema para el control de la presión de corte que se está aplicando.

Equipos de Bajo Rendimiento – Son equipos portátiles para extraer testigos, que se utilizan preferentemente en estructuras, dada su gran versatilidad, pues son lo suficientemente pequeños y livianos para moverlos e instalarlos con relativa facilidad en el lugar requerido (ver Figura 2); pueden ser accionados por un motor a explosión o un motor eléctrico. La desventaja de estos equipos radica en que cortan con menor velocidad y calidad que los de alto rendimiento, debido a su menor potencia y menor estabilidad por el bajo peso y sistema de fijación.

Útil saca testigos – Tipo tenazas, para desprender el testigo de su base y sacarlo del pavimento.

Material auxiliar – Lápices grasos para identificación de muestras, guantes, cinceles, cepillos, cinta métrica, caja para guardar las muestras en condiciones de seguridad, etc.

c) Procedimiento

1. Las muestras del pavimento compactado no se tomarán hasta que el material se haya enfriado o endurecido lo suficiente para permitir una extracción del testigo sin que se produzcan perturbaciones estructurales en las uniones del agregado grueso con el mortero. En general, para pavimentos de concreto hidráulico los testigos no se extraerán antes de 14 días desde la puesta en obra del material, y para pavimentos bituminosos bastará esperar a que la mezcla adquiera la temperatura ambiente.
2. Se localiza el equipo a no menos de 60 cm de los bordes de la franja que se desea controlar, siendo preferible colocarlo dentro del tercio central de ella. Antes de extraer un testigo del pavimento se debe verificar que éste se encuentre limpio y despejado.
3. En estructuras, se debe analizar la posición en que conviene extraer el testigo, para que sea representativo del elemento que se pretende controlar. Además, se debe determinar la posible posición de las herramientas utilizadas, de manera que la extracción del testigo no implique debilitar su sección.
4. Se extraen los testigos. Para que la extracción de un testigo resulte eficiente es indispensable tener presente las siguientes precauciones:
5. Las brocas deben ser las adecuadas respecto a calidad y dimensiones para el tipo de trabajo a realizar y deben encontrarse en buenas condiciones. Normalmente para pavimentos de concreto hidráulico se usan brocas de 152 mm (6") de diámetro y para pavimentos de asfalto de 102 mm (4").
6. La presión del agua debe ser suficiente para una adecuada refrigeración, aspecto que incide en una buena operación y en la vida útil de la broca.

7. La presión de corte aplicada debe concordar con la capacidad del equipo empleado.
8. El equipo deberá asentarse sobre la superficie, de forma que la broca se apoye perpendicularmente sobre ella y los dispositivos de fijación aseguren la estabilidad durante la extracción.
9. Se inicia el corte a baja velocidad y presión moderada, hasta que los dientes de la broca hayan penetrado en el elemento a muestrear. Una vez alcanzada esa condición, se aumenta la velocidad y la presión hasta los niveles normales para un adecuado rendimiento. Se deben mantener esos niveles constantes durante todo el tiempo que dure la extracción, de manera que se asegure una geometría uniforme en el testigo.
10. En las extracciones en pavimentos asfálticos, se debe verificar que la temperatura superficial no sea demasiado alta, para evitar que el testigo se disgregue durante la operación.
11. Los testigos extraídos se deben identificar claramente de acuerdo a un código de registro que incluya al menos un número consecutivo, la abscisa y la vía. Para marcar utilice pintura u otro producto de marcación indeleble.
12. Se depositan los testigos, previamente marcados e identificados, en bolsas de polietileno de alta densidad y luego depositarlos en cajas de embalaje, impermeables, sólidas, con tapa y con aserrín o equivalente, para evitar que se alteren sus propiedades durante el traslado al laboratorio.
13. Se almacenan los testigos de capas asfálticas en lugares apropiados, sin luz solar directa, a una temperatura ambiente entre 10° y 30° C y sin condensación, con el fin de mantener inalterada su condición original hasta el momento del ensayo.
14. Se rellenan los agujeros dejados por la extracción de testigos, teniendo en cuenta lo siguiente:
  - Inmediatamente después de extraído el testigo, se realiza el relleno del agujero producido en la toma de aquél, con el fin de evitar posibles accidentes a los vehículos que transiten por la vía.

- El material para rellenar el agujero será, siempre que sea posible, de la misma naturaleza y características que el que constituye el pavimento, en cuyo caso se obtendrá de la misma central de fabricación que lo esté produciendo.
- Si no se puede disponer de material en las circunstancias se procederá al relleno del agujero con otro tipo de material que asegure una perfecta adaptación de éste a la geometría de aquel, así como una adherencia satisfactoria entre el material de relleno y las paredes del agujero. Para ello, tanto la granulometría del agregado como el tipo de ligante constituyentes del material, serán los adecuados.
- Una vez distribuido el material de relleno dentro del agujero, se compacta en dos o más capas, por medio de una maza o pisón de compactación que tenga el mismo diámetro de aquél.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..24

Extractor de núcleo



### CAPÍTULO III

## CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

El contenido de betumen de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

Por lo que se procederá a realizar la caracterización de los materiales granulares y cemento asfáltico que deberán cumplir las especificaciones y requisitos constructivos que serán sometidas a distintos porcentajes de betumen.

### **3.2 SELECCIÓN DE MATERIALES**

Los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de Tarija que se ajustan dentro de las normativas vigentes, además de tener una disponibilidad.

El material pétreo, está situado en la comunidad de La Pintada, donde se encuentra ubicada una chancadora para la provisión de material para la Alcaldía del Municipio de Tarija de la Provincia Cercado.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..25

Chancadora para la provisión de material



El Betún como ligante asfáltico C.A. 85-100 con nombre Betunel de procedencia Brasileira, también proporcionado por la misma institución; siendo los mismos analizados en laboratorio de Suelos, Hormigones y Asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

### **3.3 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL BETUMEN**

#### **Ensayo de penetración (ASTM D5 AASHTO T49-97)**

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo.

#### **Resumen del método de ensayo**

La muestra se funde y se refresca bajo condiciones controladas. La penetración es medida con un penetrometro por medio de una aguja normalizada se aplica a la muestra bajo condiciones específicas.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..26

Muestras de asfalto sometidas a una temperatura de 25°C



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..27 Ensayo de penetración



## RESULTADOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..21  
Resultados de ensayo de penetración

Ensayo		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
							Mínimo	Máximo
Penetración a 25°C, 100s. 5seg.( 0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	mm.	90	93	96	93	85	100
	Lectura N°2		94	95	92			
	Lectura N°3		88	99	89			
	Promedio		91	96	92			

Fuente: Elaboración propia

### **Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO T79.96)**

El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre.

Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..28 Ensayo punto de inflamación por el vaso abierto de Cleveland



### **RESULTADOS**

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..22

Resultados de punto de inflamación por el vaso abierto de Cleveland

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Punto de Inflamación	°C	>282	>296	>315	<b>&gt;298</b>	>230	-

AASHTO T- 48						
-----------------	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

**Ductilidad de materiales bituminosos (AASHTO: T 51-93) (ASTM: D 113-79)**

La ductilidad es una característica de los betunes asfálticos importante en muchas aplicaciones. Los betunes asfálticos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esta característica. Por otra parte, los betunes asfálticos con una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura. En algunas aplicaciones, como las mezclas para pavimentación, tienen gran importancia la ductilidad y el poder aglomerante, mientras en otras, como la inyección bajo losas de hormigón y en el relleno de grietas, la propiedad más esencial es una baja susceptibilidad a los cambios de temperatura.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**29** Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos



**RESULTADOS**

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**23**  
Resultados ensayo de ductilidad

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones
--------	--------	----------	----------	----------	----------	------------------

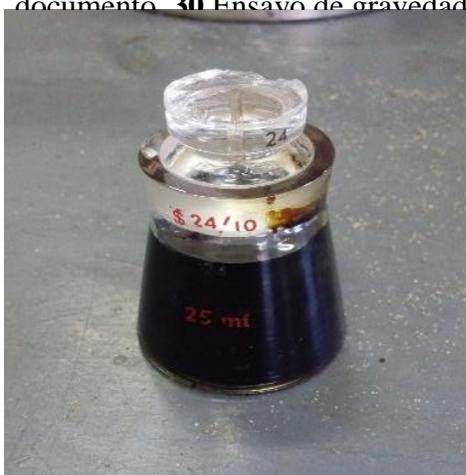
						Mínimo	Máximo
Ductilidad	cm	127.0	129.0	131.0	129	100	

Fuente: Elaboración propia

### Método para determinar la densidad (ASTM D71-94 AASHTO T 229-97)

Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a temperaturas diferentes. El punto de reblandecimiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Se emplea frecuentemente para caracterizar los materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a que estos asfaltos se hacen fluidos.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **30** Ensayo de gravedad



## RESULTADOS

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Peso Picnómetro	grs.	38.1	38.1	38.2	1.01	1	1.05
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	grs.	62.8	62.8	62.7			
Peso Picnómetro + Muestra	grs.	57.3	57.4	57.8			

Peso Picnómetro + Agua + Muestra	grs.	62.8	62.9	63.2			
Peso Específico	grs./cm <sup>3</sup>	<b>0.96</b>	<b>1.01</b>	<b>1.02</b>			

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especi

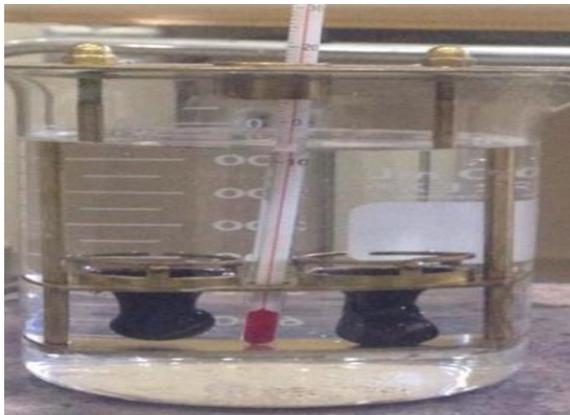
Resultados de gravedad espe .....

Fuente: Elaboración propia

### **Método para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D 36 AASHTO T53-96)**

Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a temperaturas diferentes. El punto de reblandecimiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Se emplea frecuentemente para caracterizar los materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a que estos asfaltos se hacen fluidos.

**FIGURA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**31** Ensayo punto de ablandamiento



## **RESULTADOS**

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**25**

Resultados punto de ablandamiento

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones
--------	--------	----------	----------	----------	----------	------------------

						Mínimo	Máximo
Punto de ablandamiento	°C	44.0	46.0	47.0	46	42	53

Fuente: Elaboración propia

### **Análisis**

Una vez obtenidos todos los datos de la caracterización del betumen se pudo observar que los resultados están dentro de los márgenes estipulados de calidad para cemento asfáltico de penetración 85-100 por lo tanto puede usarse como material para mezclas en caliente.

### **ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO PÉTREO**

Los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto se obtuvo el material pétreo está situado en la comunidad de La Pintada, donde se encuentra ubicada una chancadora para la provisión de material para la Alcaldía del Municipio de Tarija de la Provincia Cercado.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **32** Obtención del material pétreo nuevo



Chancadora para la provision del material

Material pétreo para la realización de ensayos de laboratorio

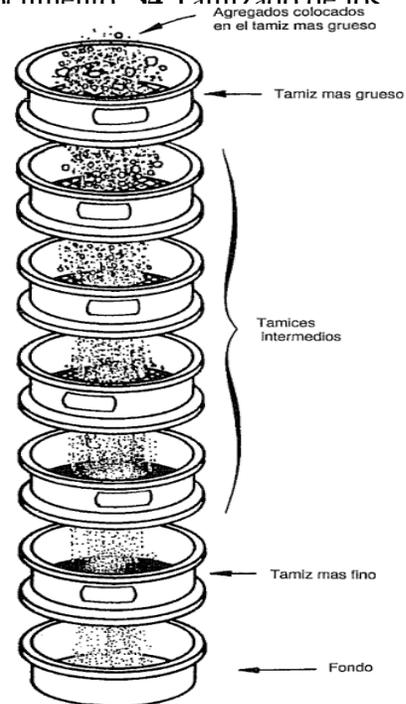
### Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 AASHTO T88)

Se denomina granulometría, a la distribución en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido. Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento 34 Tamizado de los



TAMIZADO

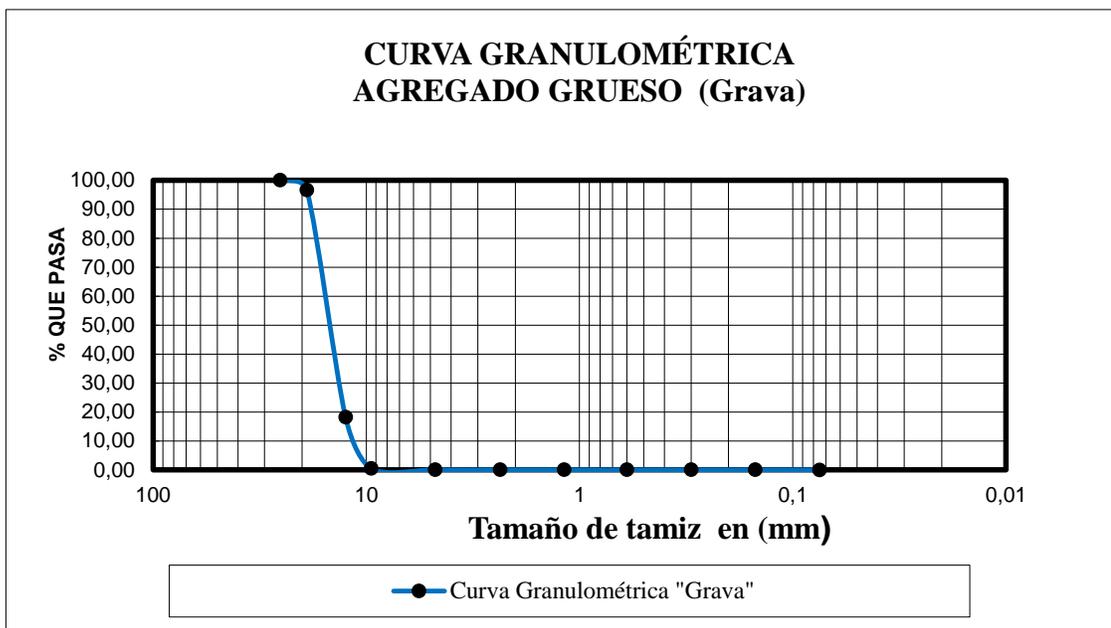
## RESULTADOS

### GRANULOMETRÍA - AGREGADO GRUESO (Grava)

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..26

Resultado de del agregado	Tamices	Tamaño(mm)	% que pasa del total	granulometría grueso
	1"	25.4	100	
	3/4"	19	93.6	
	1/2"	12.5	18.2	
	3/8"	9.5	0.6	
	Nº4	4.8	0.1	
	Nº8	2.4	0.1	
	Nº16	1.2	0.1	
	Nº30	0.6	0.04	
	Nº50	0.3	0.04	
	Nº100	0.2	0.04	
	Nº200	0.1	0.03	
	BASE	-	0.02	

**GRÁFICA**;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1Curva  
granulométrica agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

### GRANULOMETRÍA - AGREGADO GRUESO (Gravilla)

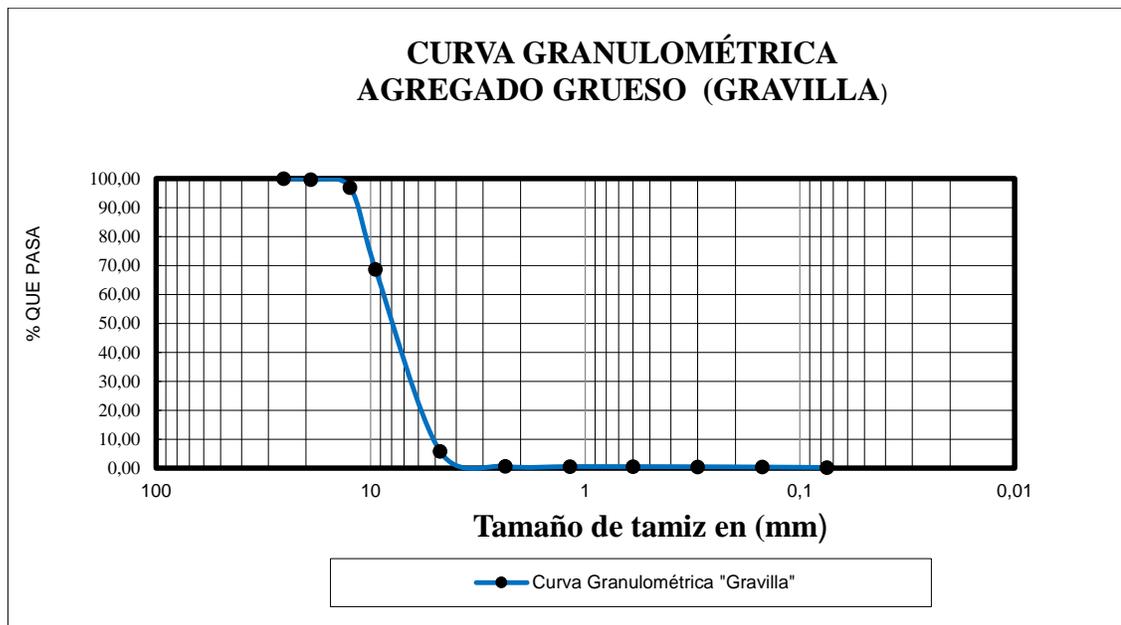
**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..27

Resultado de granulometría de la gravilla

Tamices	tamaño(mm)	% que pasa del total
1"	25.4	100.00
3/4"	19	99.6
1/2"	12.5	96.9
3/8"	9.5	68.7
Nº4	4.8	5.8
Nº8	2.4	0.7
Nº16	1.2	0.6
Nº30	0.6	0.5
Nº50	0.3	0.5
Nº100	0.2	0.4
Nº200	0.1	0.2

BASE	-	0.1
------	---	-----

**GRÁFICA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..2 Curva granulométrica agregado grueso (gravilla)



Fuente: Elaboración propia

### GRANULOMETRÍA - AGREGADO FINO (Arena)

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..28

Resultado de granulometría de agregado fino

Tamices	tamaño(mm)	% que pasa del total
1/2	12.5	100.
0.375	9.5	100
Nº4	4.8	99.9
Nº8	2.4	89.1
Nº16	1.2	76.7
Nº30	0.6	57.7
Nº50	0.3	19.9
Nº100	0.2	3.7



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **36** Pesaie del material



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **35** Material sumergido en



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**37**  
Muestra saturada con superficie seca



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **38** Muestra saturada



**RESULTADOS**

**PESO ESPECÍFICO - AGREGADO GRUESO (Grava)**

Densidad real del árido sup.seco	Densidad real del árido seco	Densidad neta (gr/cm <sup>3</sup> )	% De absorción
----------------------------------	------------------------------	-------------------------------------	----------------

(gr/cm <sup>3</sup> )	Sup. Seca (gr/cm <sup>3</sup> )		
2,6	2,6	2,7	1.03

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**29**

Resultados densidad real del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

### **PESO ESPECÍFICO - AGREGADO GRUESO (Gravilla)**

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**30**

Resultados densidad real del agregado grueso (gravilla)

Densidad real del árido sup. Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad real del árido seco (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad neta (gr/cm <sup>3</sup> )	% De absorción
2,7	2,7	2,9	2,7

Fuente: Elaboración propia

**Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM E 128 AASHTO T84-00)**

Este método tiene como objetivo determinar la densidad real y la densidad neta, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **40** Muestra sumergida



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **39** Secado superficial



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **41** Verificación de la condición de la muestra



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **42** matraz + agua +



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..44  
Contenido del matraz que será secada en



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el



## RESULTADOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..31

Resultados peso específico del agregado grueso (gravilla)

Densidad real del árido sup. seco (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad real del árido seco (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad neta (gr/cm <sup>3</sup> )	% De absorción
2,3	2,3	2,4	1, 8

Fuente: Elaboración propia

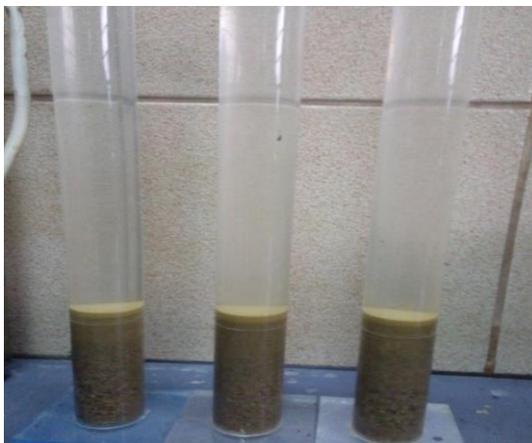
### Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D2419)

El equivalente de arena está definido como el porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales flocculantes, partículas arcillosas.

Este método cuantifica el volumen total de material no plástico deseable en la muestra, fracción gruesa, denominando su proporción volumétrica como equivalente de arena.

Establece un procedimiento rápido para determinar la proporción relativa de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por el tamiz de 4.75 mm (Nº4). Tiene como objetivo determinar la calidad que tiene un suelo que se va emplear en las capas de un pavimento; esta calidad es desde el punto de vista de su contenido de finos indeseables de naturaleza plástica.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado



## RESULTADOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..32

Resultados equivalente de arena (%)

Equivalente de arena (%)	Norma
94,9	> 50%

Fuente: Elaboración propia

**Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles  
(ASTM E 131 AASHTO T96-99)**

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2.5 mm, mediante la máquina de los ángeles.

Este ensayo es para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, planos de cristalización, forma de las partículas, cuyo objetivo es determinar la dureza de los materiales pétreos que se emplean en mezclas asfálticas, carpetas por riegos, riegos de sello, material de balasto, etc.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.**.47** Material que se obtuvo después del uso de la máquina de los ángeles y que pasó tamizado en el tamiz N° 12



**RESULTADO**

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..33 Según el tamaño de material que se tenía

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
Pasa	Retenido				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
<b>Peso total</b>		<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>
Numero de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		30	15	15	15

Fuente: Elaboración propia

GRADACIÓN B	
TAMIZ	PESO RETENIDO
1/2"	2500,9

3/8"	2500,5
------	--------

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{P_{INICIAL} - P_{FINAL}}{P_{INICIAL}} * 100$$

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..34

Resultados obtenidos a través del método para determinación del desgaste

Material	Peso inicial	Peso final obtenido al tamizar el material por el tamiz # 12	% de desgaste	Especificación ASTM
A				35% MAX
B	5001,4	3832,6	23,37	35% MAX
C	-	-	-	35% MAX
D	-	-	-	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

## **DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE BETUMEN**

### **Metodología**

El método de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar. El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½") y 102 mm (4") de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60 °C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100") que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

### **Curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica para el diseño**

#### **Marshall**

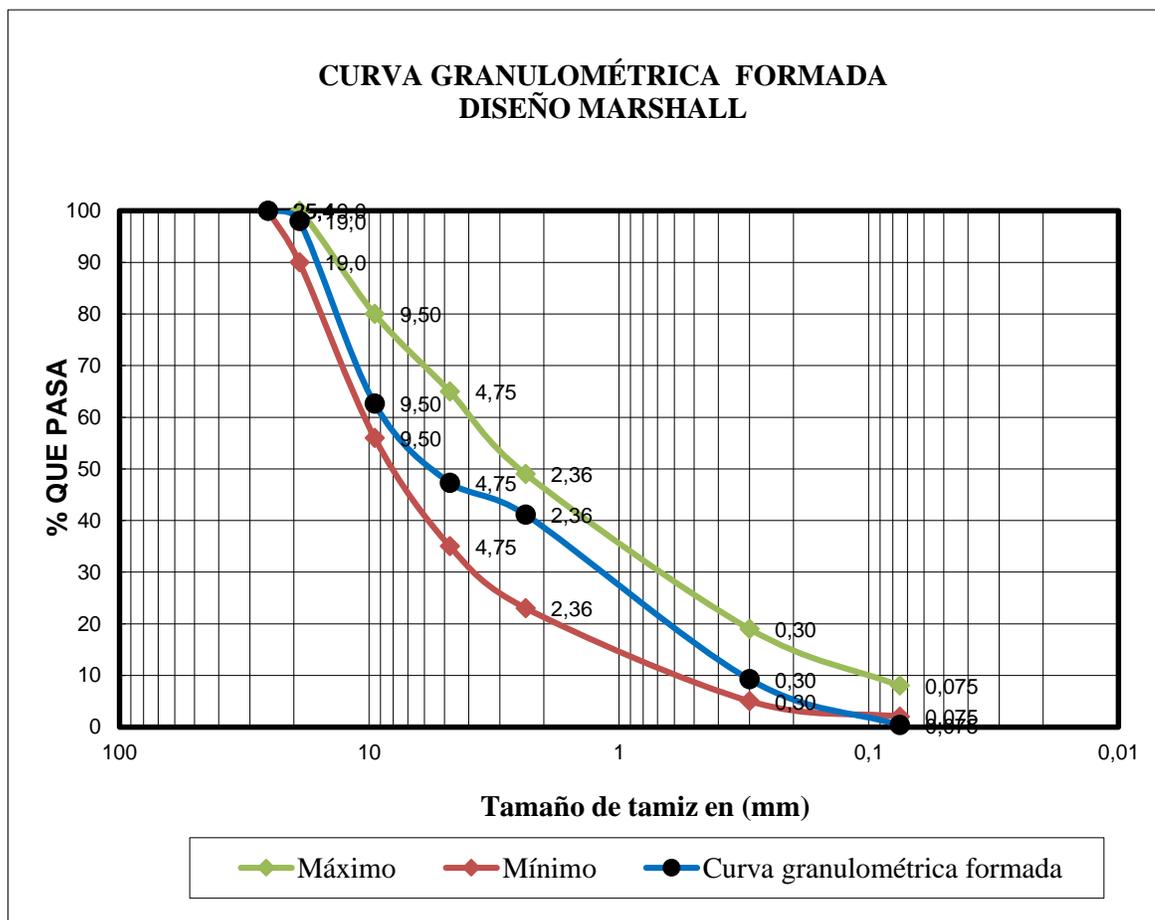
La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado

y el de las líneas de control (superior e inferior), las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica.





**GRÁFICA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..4 Curva granulométrica en función al tamaño nominal y el de las líneas de control



Fuente: Elaboración propia

### Análisis

Como se puede evidenciar nuestra curva granulométrica se encuentra dentro de la línea de control, son puntos de paso obligado para la curva granulométrica del Diseño Marshall.

Por lo tanto, se trabajará con 6 porcentajes de acuerdo a la siguiente banda cemento asfáltico de (4-10) % para la elaboración de testigos nuevos.

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..36 Márgenes aceptables de granulometría del material pétreo para

Tamaño de tamiz	Designación de la mezcla usando el tamaño máximo nominal de agregado				
	37.5 mm (1 1/2")	25 mm (1")	19mm (3/4 ")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")
	porcentaje total que pasa (en peso)				
50 mm (2 ")	100				
37.6 mm (1 1/2")	90 a 100	100			
25 mm (1")		90 a 100	100		
19 mm (3/4")	56 a 80		90-100	100	
12.5 mm (1/2")		56 a 80		90 a 100	100
9.5 mm (3/8")			46-80		90 a 100
4.75 mm (N° 4)	23 a 53	29 a 59	35-65	44 a 74	55 a 85
2.36 mm (N° 8)	15 a 41	19 a 45	23-49	28 a 58	32 a 67
1.18 mm (N° 16)					
0.60 mm (N° 30)					
0.30 mm (N° 50)	4 a 16	5 a 17	5 a 19	5 a 21	7 a 23
015 mm (N° 100)					
0.075 mm (N° 200)	0 a 5	1 a 7	2 a 8	2 a 10	2 a 10
cemento asfáltico porcentaje en peso del total de la mezcla	3 a 80	3 a 9	4 a 10	4 a 11	5 a 12

Fuente: Construcción de pavimentos. Serie de manuales No.22 (MS-22)

### Datos

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..37 Datos para dosificación de testigos a 4.5% de betumen

Peso Total de Briqueta =	1250 gr
<b>% del betumen=</b>	<b>4.5%</b>
% agregado =	95.5%
Peso del betumen =	56.3 gr
Peso del agregado=	1193.8 gr

Fuente: Elaboración propia

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**38** Datos para Dosificación de testigos a 5% de betumen

Peso Total de Briqueta =	1250 gr
<b>% del betumen=</b>	<b>5%</b>
% agregado =	95%
Peso del betumen=	62.5 gr
Peso del agregado=	1187.5 gr

Fuente: Elaboración propia

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**39** Datos para la dosificación de testigos a 5.5.% betumen

Peso Total de Briqueta =	1250 gr
<b>% del betumen =</b>	<b>5.5 %</b>
% agregado =	94.5%
Peso del betumen =	68.8 gr
Peso del agregado=	1181.3 gr

Fuente: Elaboración propia

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**40** Datos para la dosificación de testigos a 6% de betumen

Peso Total de Briqueta =	1250 gr
<b>% del betumen=</b>	<b>6%</b>
% agregado =	94%
Peso del betumen=	75gr
Peso del agregado=	1175gr

Fuente: Elaboración propia

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**41** Datos para la dosificación de testigos a 6.5 % de betumen

Peso Total de Briqueta =	1250
<b>% del betumen=</b>	<b>6.5</b>
% agregado =	93.5
Peso del betumen=	81.3
Peso del agregado=	1168.8

Fuente: Elaboración propia

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..42 Datos para la dosificación de testigos a 7% de Betumen

Peso Total de Briqueta =	1250 gr
<b>% del ligante=</b>	<b>7%</b>
% agregado =	93%
Peso del betumen=	87.5gr
Peso del agregado=	1162.5 gr

Fuente: Elaboración propia

### Procedimiento de ensayo realizado en laboratorio

En este caso se optó por realizar un análisis con 6 porcentajes que estarán en análisis. Donde la temperatura de mezclado será a 150 °C, con ese grado de color se realizarán las briquetas.

Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betumen (gr)
95,5	<b>4,5</b>	358,1	286,5	549,1	56,3
95	<b>5</b>	356,3	285	546,3	62,5
94,5	<b>5,5</b>	354,4	283,5	543,4	68,8
94	<b>6</b>	352,5	282	540,5	75
93,5	<b>6,5</b>	350,6	280,5	537,6	81,3

93	7	348,8	279	534,8	87,5
----	---	-------	-----	-------	------

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**43**

Cantidad de cemento asfáltico y agregado pétreo utilizado para obtener el porcentaje de cemento asfáltico óptimo

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**48** Mezclado constante hasta alcanzar la



Verter la mezcla en los moldes Marshall, en tres capas, las dos primeras con 25 varillasos para el acomodo y la tercera con 75 golpes con el martillo; dar la vuelta de cara y aplicar otros 75 golpes.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **50** Elaboración de



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **49** Compactación con



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **51**

Testigos elaborados a distintos porcentajes de betumen



### **Determinación de la cantidad de la densidad, estabilidad y fluencia Marshall**

Previo a los ensayos Marshall, se debe determinar la altura de las briquetas para un factor de corrección que se aplica cuando no cumple con lo establecido en la norma. Se hizo la lectura de 4 alturas para promediar, ya que las briquetas no tienen una altura pareja, por desvío del martillo compactador al realizarlo manualmente.

## Determinación de la densidad

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**52** Pesaje de



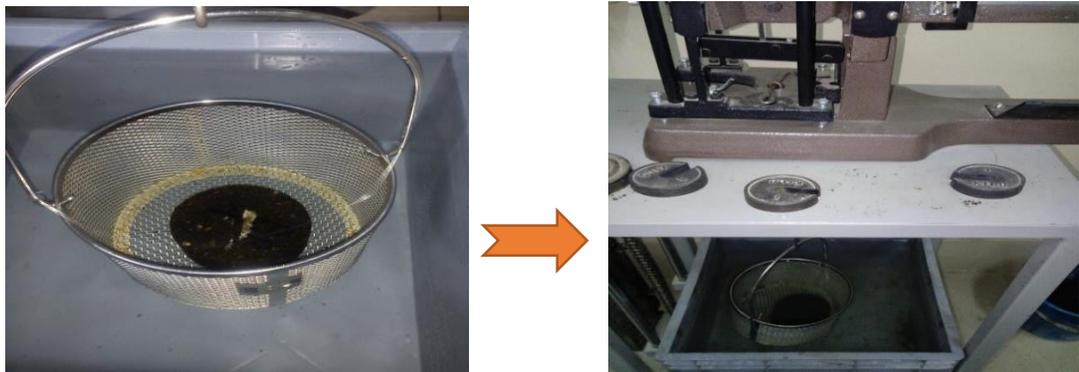
**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**53** Briquetas en baño maría a 25°C por un mínimo de 10 min



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**54** Pesaje de



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**55**  
Determinación del peso sumergido en el agua



## Determinación de la estabilidad y fluencia

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**56** Briquetas en baño maría a 60°C por 35 minutos



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**57** Colocado de briquetas en aparato Marshall



**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**58** Lectura del dial de estabilidad (dentro del dial de Marshall) en el dial de deformación en el dial



## RESULTADOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**44** Peso específico de los agregados

Agregado	P.E.	%
Grava	2,7	30
Gravilla	2,9	24
Arena	2,4	46
Filler	0	0

Fuente: Elaboración propia

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**45** Peso específico del ligante asfáltico

Numero de golpes 75	
Cemento asfáltico betunel 85-100	
Peso específico del ligante AASHTO t-228	1,01

Fuente: Elaboración propia

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**46** Peso específico total

Pesos específicos		% de agregado
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2,7	54
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2,4	46
Peso Específico Total	2,76	100

Fuente: Elaboración propia

Tabla de resultados obtenidos de la práctica

Nº de probeta	altura de probeta	% de Asfalt			Peso Briqueta			Volumen		Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall				Fluencia		
		base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacios mezcla total	V.A. McVacio + agregado mineral	KRV. (relación betumen vacios)	lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del D	fluencia real	Fluencia promedio
		%	%		grs.	grs.	grs.	cc	grsfcm3	grsfcm3	grsfcm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	-	-	0,01 pulg
1	6,50	4,50	4,71	1229,0	1230,2	682	548,2	2,24	2,25	2,48	9,00	19,06	52,76	600	1322,76	0,963	1273,157	1274,6	145	0,057	5,709	
2	6,70			1217,2	1218,3	677	541,3	2,25						610	1344,806	0,923	1240,584		160	0,063		
3	6,60			1220,4	1221,9	685	536,9	2,27						630	1388,898	0,943	1310,009		130	0,051		
4	6,50	5,00	5,26	1229,3	1230,7	700	530,7	2,32	2,28	2,46	7,28	18,58	60,82	800	1763,68	0,963	1697,542	1702,9	190	0,0748	7,09	
5	6,80			1230,2	1231,8	687	544,8	2,26						840	1851,864	0,898	1662,048		180	0,0709		
6	6,70			1228,6	1230,4	688	542,4	2,27						860	1895,956	0,923	1749,019		170	0,0669		
7	6,90	5,50	5,82	1221,0	1222,5	702	520,5	2,35	2,31	2,44	5,15	17,76	71,03	997	2197,986	0,877	1927,414	1894,2	200	0,0787	9,45	
8	6,80			1248,0	1249,4	704	545,4	2,29						980	2160,508	0,898	1939,056		250	0,0984		
9	7,00			1230,5	1231,6	699	532,6	2,31						960	2116,416	0,858	1816,097		270	0,1063		
10	6,80	6,00	6,38	1246,0	1247,9	705	542,9	2,30	2,32	2,42	4,19	17,99	76,73	1000	2204,6	0,898	1978,629	2008,3	270	0,1063	11,55	
11	6,70			1228,6	1229,4	704	525,4	2,34						1020	2248,692	0,923	2074,418		310	0,1220		
12	6,90			1233,2	1234,5	705	529,5	2,33						1020	2248,692	0,877	1971,878		300	0,1181		
13	6,60	6,50	6,95	1234,4	1235,4	700	535,4	2,31	2,33	2,40	3,02	18,04	83,27	900	1984,14	0,943	1871,441	1793,6	320	0,1260	12,99	
14	6,70			1230,0	1231,2	697	534,2	2,30						850	1873,31	0,923	1728,682		340	0,1339		
15	6,80			1231,5	1232,9	717	515,9	2,39						900	1984,14	0,898	1780,766		330	0,1299		
16	6,60	7,00	7,53	1220,4	1221,3	695	526,3	2,32	2,31	2,39	3,32	19,33	82,81	808,4	1782,199	0,943	1680,97	1617,7	350	0,1378	13,39	
17	6,70			1224,1	1225,6	690	535,6	2,29						800,6	1765,003	0,923	1628,215		340	0,1339		
18	6,90			1215,4	1216,4	692	524,4	2,32						798,6	1760,594	0,877	1543,864		330	0,1299		
ESPECIFICACIONES				minimo						3	13	75					8					
				maximo						5	-	82					16					

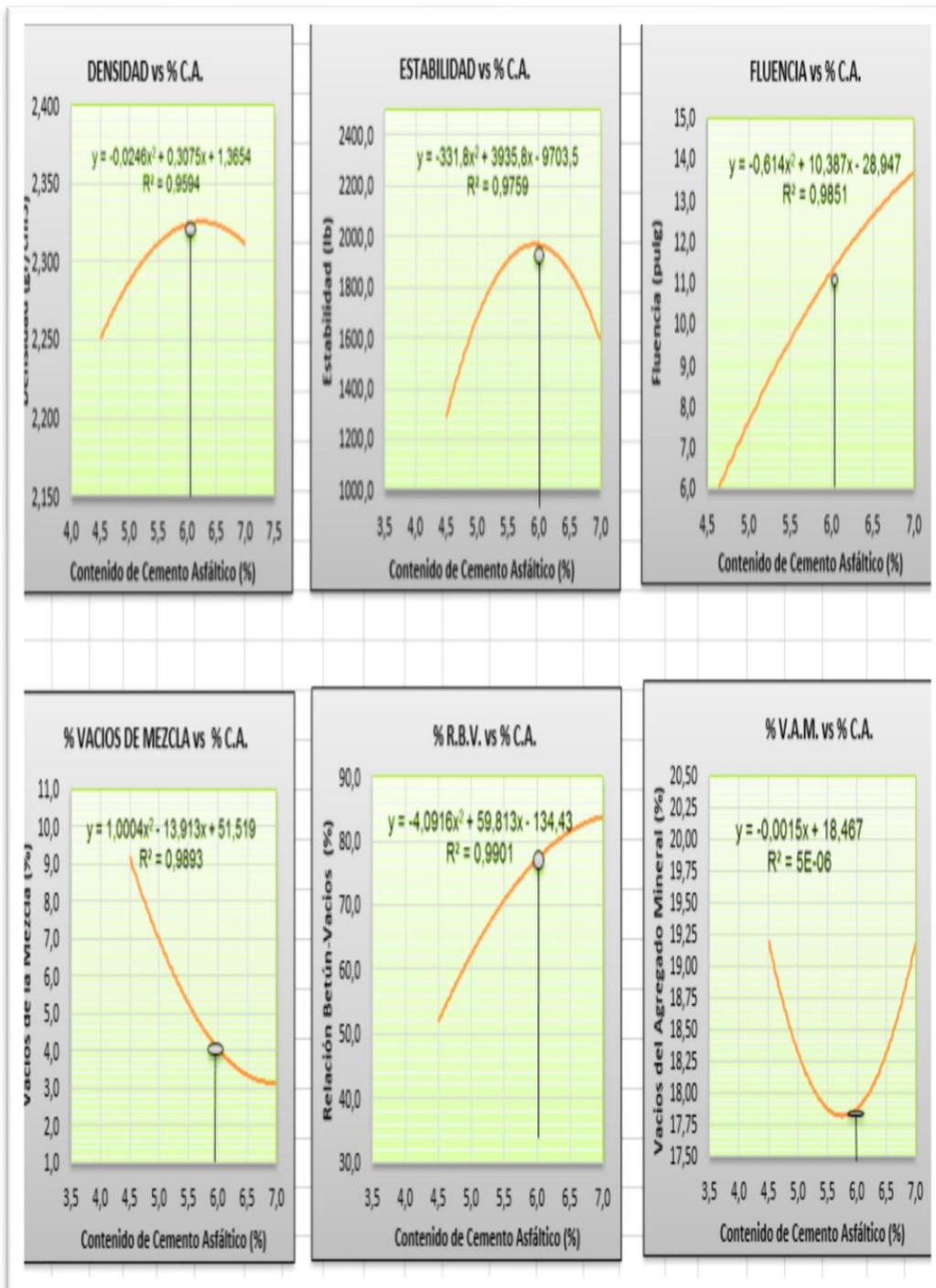
Fuente: Elaboración propia

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el

Contenido de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.b.v. (relación betún vacíos) (%)	V.a.m. (vacíos de agregado mineral) (%)
4,5	2,3	1274,6	5,7	9	52,8	19,1
5,0	2,3	1702,9	7,1	7,3	60,8	18,6
5,5	2,3	1894,2	9,5	5,2	71,1	17,8
6,0	2,3	2008,3	11,6	4,2	76,7	17,9
6,5	2,3	1793,6	12,9	3,2	83,3	18,1
7,0	2,3	1617,7	13,4	3,3	82,8	19,3
X	6,6	5,9	1,3	6,3	5,8	1,3
Y máx	2,3	1968, 1	5,2	3,9	74,9	26,2

Fuente: Elaboración propia

**GRAFICA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..5  
 Graficas generadas para verificación y obtención del contenido de cemento



Fuente: Elaboración propia

### Determinación del porcentaje óptimo de betumen

El contenido óptimo de betumen en una mezcla depende en gran medida de las características del agregado como la graduación y absorción.

Es la cantidad de asfalto que se necesita para formar alrededor de la partícula una membrana con espesor suficiente para resistir los elementos de intemperismo, para que el asfalto no se oxide. El espesor no debe ser muy grande porque se pierde resistencia y estabilidad. En las mezclas asfálticas es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tan que sea suficiente de resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie.

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..49 Tabla de resultado del porcentaje óptimo de cemento asfáltico

	<b>Ensayo</b>	<b>Valor de Diseño</b>	<b>% de C.A.</b>	
Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	Estabilidad Marshall (Lb)	1968,081	5,93	
	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2,326	6,25	
	relación betun vacíos	74,967	5,81	
	Vacíos de la mezcla (%)	4,000	6,03	
	<b>% Porcentaje óptimo de C.A.</b>			
	<b>Promedio =</b>			<b>6,01</b>

Fuente: Elaboración propia

**Análisis**

La densidad aumenta con el contenido de betumen hasta un máximo después del cual empieza a decrecer. La curva de estabilidad es similar a la de densidad, salvo que la máxima estabilidad ocurre normalmente (no siempre) a un contenido de asfalto ligeramente inferior al de la máxima densidad. Los valores del flujo aumentan con los incrementos en el contenido de asfalto.

El % de vacíos con aire en la mezcla total disminuye al incrementar el contenido de betumen, tendiendo hacia un mínimo. El % de vacíos en los agregados minerales disminuye al incrementarse el contenido de betumen, hasta alcanzar un mínimo a partir del cual comienza a aumentar.

## CAPÍTULO IV APLICACIÓN PRÁCTICA

### ENSAYOS EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE BETUMEN (I.N.V.E. 732-07)

Esta norma describe métodos para la determinación cuantitativa del Betumen en mezclas asfálticas en caliente y en muestras de pavimentos. Los agregados obtenidos mediante estos métodos se pueden emplear para análisis granulométrico y otro tipo de ensayos.

#### **Extractor centrífugo (Método A)**

Este método es usado para la determinación cuantitativa del contenido de betumen en las mezclas de pavimentación.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..59

Máquina Extractor Centrífugo



Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**50** Datos para 4.5 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso Teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	95,5	4.5	1250	358,1	286,5	549,1	56,3
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

## RESULTADOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**51** Análisis de referencia 4.5 % de Betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1249.6	1193.8	4.47	0.035
2	1247.6	1191.9	4.46	0.035
3	1245.6	1189.9	4.47	0.033
4	1235.1	1179.9	4.46	0.035
5	1232.6	1177.5	4.46	0.035
		<b>promedio</b>	<b>4.46</b>	<b>0.035</b>

Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..52 Datos para 5 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso Teórico testigo	peso grava	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	95	5	1250	356.3	285	546.3	62.5
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..53 Análisis de referencia 5 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1248.4	1186.6	4.95	0.05
2	1246.8	1185.3	4.93	0.07
3	1247.9	1186.1	4.95	0.05
4	1234.3	1173.4	4.93	0.07
5	1231.8	1171.1	4.93	0.07
		<b>promedio</b>	<b>4.94</b>	<b>0.06</b>

Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..54 Datos para 5.5 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso Teórico testigo	peso grava	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	94.5	5.5	1250	354.4	283.5	543.4	68.8
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..55 Análisis de referencia 5.5 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1240.1	1172.8	5.43	0.07
2	1242.6	1174.9	5.45	0.05
3	1246.3	1178.5	5.44	0.06
4	1230.2	1163.2	5.45	0.05
5	1227.7	1160.80	5.45	0.05
		<b>promedio</b>	<b>5.44</b>	<b>0.06</b>

Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**56** Datos para 6 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso Teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	94	6	1250	352.5	282	540.5	75
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**57** Análisis de referencia 6 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1244.1	1170.2	5.94	0.06
2	1247	1172.8	5.95	0.05
3	1246.2	1172.5	5.91	0.09
4	1234.5	1161.1	5.95	0.05
5	1232.0	1158.7	5.95	0.05
		<b>promedio</b>	<b>5.94</b>	<b>0.06</b>

Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**58** Datos para 6.5 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso Teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	93.5	6.5	1250	350.6	280.5	537.6	81.3
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**59** Análisis de referencia 6.5 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1245.2	1165.1	6.43	0.07
2	1242.9	1162.7	6.45	0.05
3	1243.5	1163.7	6.42	0.08

<b>4</b>	1230.5	1151.1	6.45	0.05
<b>5</b>	1227.9	1148.7	6.45	0.05
		<b>promedio</b>	<b>6.44</b>	<b>0.06</b>

Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..60 Datos para 7 % de Betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso Teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
<b>1</b>	93	7	1250	348.8	279	534.8	87.5
<b>2</b>							
<b>3</b>							
<b>4</b>							
<b>5</b>							

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..61 Análisis de referencia 7 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
<b>1</b>	1238.8	1153.3	6.90	0.10

<b>2</b>	1242.9	1157.1	6.90	0.10
<b>3</b>	1245.5	1159.8	6.88	0.12
<b>4</b>	1230.5	1145.5	6.90	0.10
<b>5</b>	1227.9	1143.2	6.90	0.10
		<b>promedio</b>	<b>6.90</b>	<b>0.10</b>

Fuente: Elaboración propia

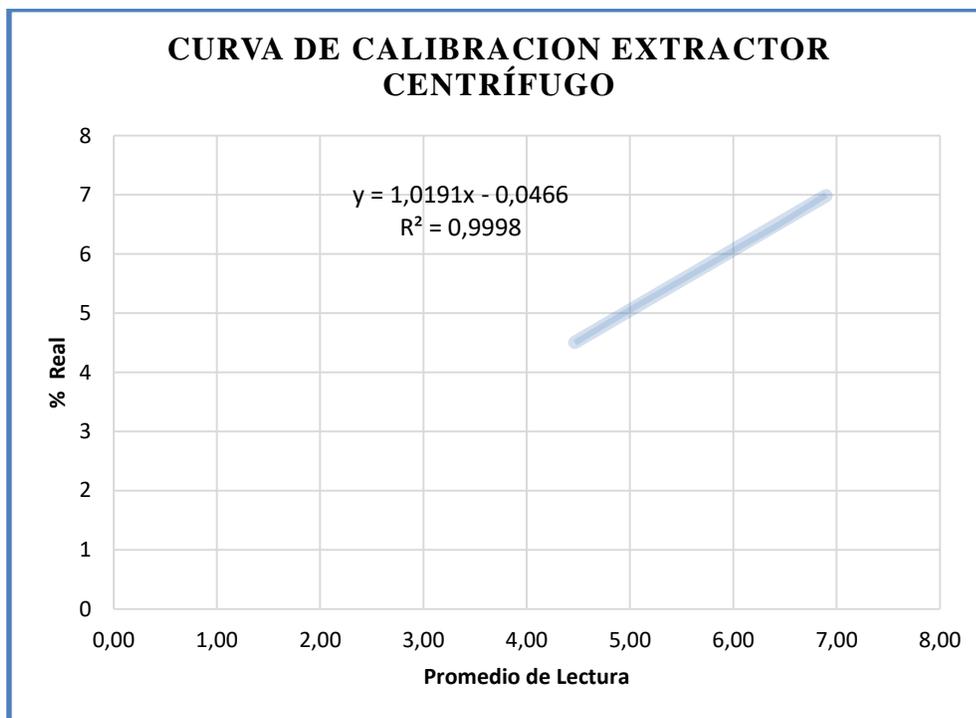
## CURVA DE CALIBRACIÓN

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..62 Curva de calibración

<b>% real</b>	<b>Promedio de lectura</b>
4.5	4.47
5	4.94
5.5	5.44
6	5.94
6.5	6.44
7	6.90

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..6 Curva de calibración extractor centrifugo



Fuente: Elaboración propia

### ECUACIÓN OBTENIDA

$$y = 1.0191x - 0.0466$$

$$R^2 = 0.9998$$

### Análisis

La curva de calibración del Extractor Centrifugo está representada por una curva lineal, que grafica la variable dependiente contra la independiente y el coeficiente de correlación que es un índice estadístico, que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas, en este caso la concentración de un analítico contra su absorbencia, pues es la que mejor simulo su comportamiento, esto se ve reflejado en el coeficiente de correlación Pearson,  $R^2 = 0.9998$  (valor muy proximidad a 1) lo que significa un acercamiento posible al valor real..

**Extractor de reflujo (Método B)**

Este método es usado para la determinación cuantitativa del contenido de betumen en las mezclas de pavimentación.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..60  
Máquina Extractor de Reflujo



## DATOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..63 Datos para 4.5 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso Teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	95,5	4.5	1250	358,1	286,5	549,1	56,3
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..64 Análisis de referencia 4.5 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1238.3	1184.3	4.36	0.14
2	1236.3	1182.1	4.40	0.10
3	1234.3	1179.9	4.41	0.09
4	1225.2	1171.7	4.37	0.13
5	1227.3	1173.5	4.38	0.12
		<b>promedio</b>	<b>4.38</b>	0.12

Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**65** Datos para 5 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso Teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	95	5	1250	356.3	285	546.3	62.5
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**66** Análisis de referencia 5 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1235.92	1175.33	4.90	0.10
2	1234.33	1174.04	4.88	0.12
3	1235.42	1174.83	4.90	0.10
4	1223.22	1163.83	4.86	0.14
5	1228.38	1168.49	4.88	0.12
		<b>promedio</b>	<b>4.88</b>	<b>0.12</b>

Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..67 Datos para 5.5 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso Teórico testigo(gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	94.5	5.5	1250	354.4	283.5	543.4	68.8
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..68 Análisis de referencia 5.5 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1227.9	1162.0	5.37	0.13
2	1230.4	1164.0	5.39	0.11
3	1234.9	1167.6	5.38	0.12
4	1219.3	1153.9	5.36	0.14
5	1227.5	1161.3	5.35	0.15
		<b>promedio</b>	<b>5.37</b>	<b>0.13</b>

Fuente: Elaboración propia

**DATOS****TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**69** Datos para 6 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso Teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	94	6	1250	352.5	282	540.5	75
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

**CÁLCULOS****TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**70** Análisis de referencia 6 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1232.65	1160.02	5.89	0.11
2	1235.53	1162.60	5.90	0.10
3	1234.73	1162.30	5.87	0.13
4	1224.41	1152.48	5.87	0.13
5	1227.70	1156.02	5.84	0.16
		<b>promedio</b>	<b>5.87</b>	<b>0.13</b>

Fuente: Elaboración propia

**DATOS****TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**71** Datos para 6.5 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	93.5	6.5	1250	350.6	280.5	537.6	81.3
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

**CÁLCULOS****TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**72** Análisis de referencia 6.5 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1236.4	1157.5	6.39	0.11
2	1234.2	1155.8	6.35	0.15
3	1234.8	1155.9	6.39	0.11
4	1223.0	1145.6	6.33	0.17
5	1227.7	1149.6	6.36	0.14
		<b>promedio</b>	<b>6.36</b>	<b>0.14</b>

Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**73** Datos para 7 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	93	7	1250	348.8	279	537.6	87.5
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

## RESULTADOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**74** Análisis de referencia 7 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1235.3	1150.6	6.86	0.14
2	1234.2	1149.5	6.87	0.13
3	1236.9	1152.0	6.85	0.15
4	1223.1	1139.7	6.82	0.18
5	1229.7	1145.6	6.84	0.16
		<b>promedio</b>	<b>6.85</b>	<b>0.15</b>

Fuente: Elaboración propia

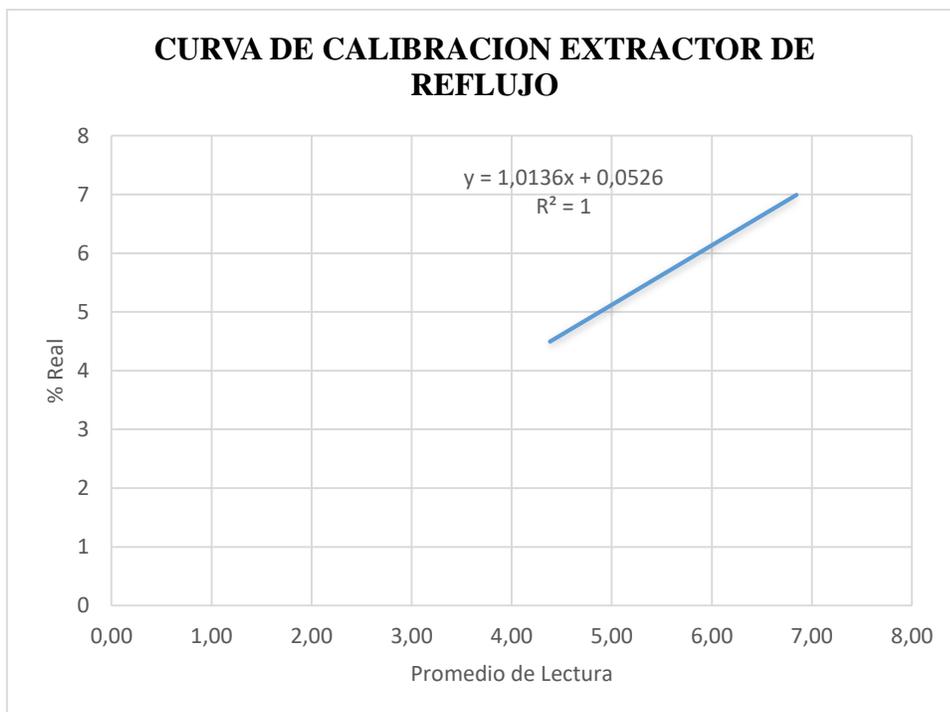
## CURVA DE CALIBRACIÓN

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..75 Curva de calibración

<b>% Real</b>	<b>Promedio de lectura</b>
4.5	4.38
5	4.88
5.5	5.37
6	5.87
6.5	6.36
7	6.85

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..7 Curva de calibración extractor de reflujo



Fuente: Elaboración propia

### ECUACIÓN OBTENIDA

$$y = 1.0136x - 0.0526$$

$$R^2 = 1$$

### Análisis

La curva de calibración del Extractor de Reflujo está representada por una regresión lineal que grafica la variable dependiente contra la independiente y el coeficiente de correlación que es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas, en este caso la concentración de un analítico contra su absorbencia, pues es la que mejor simulo su comportamiento, esto se ve reflejado en el coeficiente de

correlación Pearson,  $R^2 = 1$  (valor muy exacto) lo que significa un acercamiento posible al valor real y una alta correlación de datos.

### **Extractor de Vacío (Método E)**

Este método es usado para la determinación cuantitativa del contenido de betumen en las mezclas de pavimentación.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..61  
Máquina extractor de vacíos



## DATOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**76** Datos para 4.5 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	95,5	4.5	1250	358.1	286.5	549.1	56.3
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**77** Análisis de referencia 4.5 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1237.1	1182.3	4.43	0.07
2	1235.3	1180.5	4.44	0.06
3	1233.4	1178.5	4.45	0.05
4	1223.0	1168.7	4.45	0.05
5	1220.1	1166.3	4.41	0.09

<b>promedio</b>	<b>4.43</b>	<b>0.07</b>
-----------------	-------------	-------------

Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..78 Datos para 5 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	95	5	1250	356.3	285	546.3	62.5
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..79 Análisis de referencia 5 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1235.9	1175.1	4.92	0.08
2	1234.3	1173.8	4.90	0.10

<b>3</b>	1235.4	1174.6	4.92	0.08
<b>4</b>	1222.1	1162.1	4.91	0.09
<b>5</b>	1219.4	1159.7	4.89	0.11
		<b>promedio</b>	<b>4.91</b>	<b>0.09</b>

Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..80 Datos para 5.5 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
<b>1</b>	94.5	5.5	1250	354.4	283.5	543.4	68.6
<b>2</b>							
<b>3</b>							
<b>4</b>							
<b>5</b>							

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..81 Análisis referencial 5.5 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
------------	------------------------	-------------------------------	---------------------------	---------------------

<b>1</b>	1227.82	1161.78	5.38	0.12
<b>2</b>	1230.30	1163.86	5.40	0.10
<b>3</b>	1233.96	1167.42	5.39	0.11
<b>4</b>	1218.12	1152.33	5.40	0.10
<b>5</b>	1217.92	1152.25	5.39	0.11
		<b>promedio</b>	<b>5.39</b>	<b>0.11</b>

Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..82 Datos para 6 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
<b>1</b>	94	6	1250	352.5	282	540.5	75
<b>2</b>							
<b>3</b>							
<b>4</b>							
<b>5</b>							

Fuente: Elaboración propia

## CACULOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..83 Análisis referencial 6 % de betumen

<b>N° Testigo</b>				
-------------------	--	--	--	--

	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
<b>1</b>	1232.8	1160.3	5.88	0.12
<b>2</b>	1235.7	1162.8	5.89	0.11
<b>3</b>	1234.9	1162.5	5.86	0.14
<b>4</b>	1223.4	1151.4	5.88	0.12
<b>5</b>	1218.8	1147.3	5.87	0.13
		<b>promedio</b>	<b>5.88</b>	<b>0.12</b>

Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..84 Datos para 6.5 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétrico (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Peso teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
<b>1</b>	93.5	6.5	1250	350.6	280.5	537.6	81.3
<b>2</b>							
<b>3</b>							
<b>4</b>							
<b>5</b>							

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**85** Análisis referencial 6.5 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1236.48	1157.06	6.42	0.08
2	1234.20	1155.03	6.41	0.09
3	1234.80	1156.02	6.38	0.12
4	1221.98	1143.59	6.41	0.09
5	1218.74	1140.99	6.38	0.12
		<b>promedio</b>	<b>6.40</b>	<b>0.10</b>

Fuente: Elaboración propia

## DATOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**86** Datos para 7 % de betumen

N° Testigo	Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asphaltico (%)	Peso Teórico testigo (gr)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del betún (gr)
1	93	7	1250	348.6	279	534.6	87.5
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**87** Análisis referencial 7 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	valor no registrado
1	1230.13	1145.34	6.89	0.11
2	1234.20	1149.46	6.87	0.13
3	1236.78	1151.91	6.86	0.14
4	1221.98	1138.08	6.87	0.13
5	1220.70	1136.47	6.90	0.10
		<b>promedio</b>	<b>6.88</b>	<b>0.12</b>

Fuente: Elaboración propia

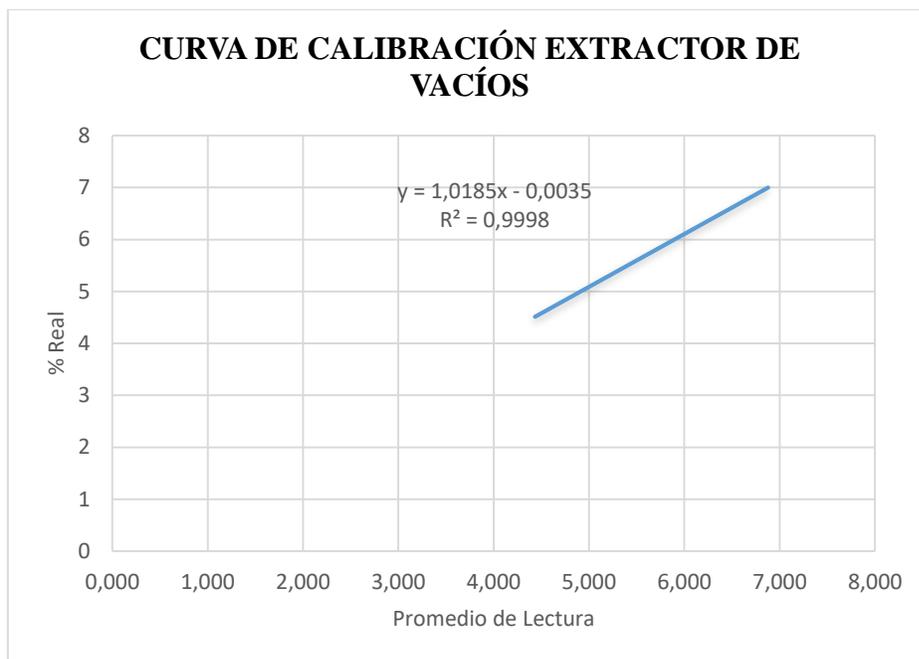
## CURVA DE CALIBRACIÓN

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**88** Curva de calibración

% real	Promedio de lectura
4.5	4.43
5	4.91
5.5	5.39
6	5.88
6.5	6.40
7	6.88

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..8 Curva de calibración extractor de vacíos



Fuente: Elaboración propia

**ECUACIÓN OBTENIDA**

$$y = 1.0185x - 0.0035$$

$$R^2 = 0.9998$$

**Análisis**

La curva de calibración del Extractor de Vacíos está representada por una regresión lineal que grafica la variable dependiente contra la independiente y el coeficiente de correlación que es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables

cuantitativas, en este caso la concentración de un analítico contra su absorbencia, pues es la que mejor simulo su comportamiento, esto se ve reflejado en el coeficiente de correlación Pearson,  $R^2 = 0.9998$  (valor aproximado a 1) lo que significa un acercamiento posible al valor real.

**Método de extracción de testigos en pavimentos terminados (I.N.V. E – 758 – 07)**

Esta norma establece el procedimiento para extraer muestras cilíndricas de pavimentos de concreto hidráulico y de concreto asfáltico (base asfáltica, concreto de base y concretos de rodadura) así como de estructuras, tales como puentes, obras de arte, soleras y muros de contención, entre otros, para la realización de ensayos que permitan verificar el cumplimiento de especificaciones.

Los núcleos extraídos para realizar este método fue el tramo Santa Ana- Yesera km 10 – km 20.

**FIGURA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..62  
Extractor de núcleos



### DATO PRINCIPAL DEL TRAMO

Dosificación del diseño Marshall de carpeta asfáltica que fue aplicado en el proyecto Santa Ana – Yesera km 10 – km20.

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**89**  
Dosificación del diseño Marshall Santa Ana - Yesera

<b>Materiales</b>	<b>%</b>	<b>Unidad</b>	<b>Procedencia</b>
3/4" – 3/8"	31.25	En peso	Chancadora Vafercon
3/8"- N°4	21.78	En peso	Chancadora Vafercon
Arena	41.67	En peso	Chancadora Vafercon
<b>C.A.</b>	<b>5.30</b>	<b>En peso</b>	<b>85-100 Stratura asfaltos (Brasil)</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>		

Fuente: Servicio departamental de caminos Tarija

### Datos extractor centrifugo (Método A)

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**90** Datos para 5.30 % de Betumen

<b>N° Testigo</b>	<b>Peso real testigo (gr)</b>	<b>SEDECA % de betumen</b>
<b>1</b>	1234.9	5.30

<b>2</b>	1236.7	
<b>3</b>	1245.5	

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..91  
Resultados de betumen post extraer con el centrífugo

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	Valor no Registrado
<b>1</b>	1234.9	1170.1	5.25	0.05
<b>2</b>	1236.7	1172.2	5.22	0.08
<b>3</b>	1245.5	1180.3	5.23	0.07

Fuente: Elaboración propia

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..92 Datos para verificar la correlación de la curva de calibración del extractor centrífugo

% Real	Lectura del % extraído
5.3	5.25
	5.22
	5.23

Fuente: Elaboración propia

**Ecuación obtenida de la curva de calibración extractor centrífugo**

$$y = 1.0191x - 0.0466$$

$$R^2 = 0.9998$$

Donde:

$y$  = % de contenido de betumen (valor real de testigo).

$x$  = % de contenido de betumen (lectura extraída por método centrífugo).

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**93**  
Resultados de la ecuación de la curva de calibración

<b>% Real</b>	<b>Resultados de la curva de calibración (extractor centrífugo)</b>	<b>Diferencia entre el valor real y el resultado de la curva de calibración</b>
5.3	5.30	0.004
	5.27	0.017
	5.28	0.028
	<b>promedio</b>	<b>0.013</b>

Fuente: Elaboración propia

### Análisis

La curva de Calibración del Extractor Centrífugo está representada por una curva lineal, ( $y = 1.0191x - 0.0466$ ), donde cabe resaltar que la variable  $y$  = (Valor Real de testigo),  $x$  = (lectura extraída por Centrífugo). Dando así una correlación de Pearson  $R^2 = 0.9998$  (valor muy próximo a 1) lo cual significa un acercamiento posible al valor real. Una vez hecho uso de la ecuación de la curva de calibración se obtuvo resultados próximos al valor real con una diferencia de 1,3 %, esta diferencia se debe al valor no registrado es decir a la pérdida de Betumen ya se en la elaboración de los testigos, restos de mezcla asfáltica en el martillo compactador Marshall, o en los poros del agregado pétreo.

### Datos extractor de reflujo (Método B)

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**94** Datos para 5.30 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	SEDECA % de betumen
1	1234.9	5.30
2	1236.7	
3	1245.5	

Fuente: Elaboración propia

### CÁLCULOS

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**95** Resultados de betumen post extraer con el reflujo

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	Valor no registrado
1	1226.1	1162.5	5.19	0.11
2	1227.9	1164.6	5.16	0.14

3	1236.7	1172.6	5.16	0.14
---	--------	--------	------	------

Fuente: Elaboración propia

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..96 Datos para verificar la correlación de la curva de calibración del extractor de reflujo

% real	Lectura de porcentaje extraído
5.3	5.19
	5.16
	5.16

Fuente: Elaboración propia

**Ecuación obtenida de la curva de calibración extractor de reflujo**

$$y = 1.0136x - 0.0526$$

$$R^2 = 1$$

Donde:

y = % de contenido de betumen (valor real de testigo).

x = % de contenido de betumen (lectura extraída por método reflujo).

**TABLA** ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**97**  
Resultados de la ecuación de la curva de calibración

% real	Resultados de la curva de calibración (extractor de reflujo)	Diferencia entre el valor real y el resultado de la curva de calibración
5.3	5.31	0.013
	5.28	0.017
	5.28	0.017
	5.29	0.007
	<b>Promedio</b>	<b>0.007</b>

Fuente: Elaboración propia

### Análisis

La curva de calibración del Extractor de Reflujo está representada por una regresión lineal ( $y = 1.0136x - 0.0526$ ), donde cabe resaltar que la variable  $y$  = (Valor Real de testigo),  $x$  = (lectura extraída por Centrifugo). Dando así una correlación de Pearson  $R^2 = 1$  (valor muy exacto) lo cual significa un acercamiento posible al valor real. Una vez hecho uso de la ecuación de la curva de calibración se obtuvo resultados próximos al valor real con una diferencia de 0.7 %, esta diferencia se debe al valor no registrado es decir a la pérdida de Betumen ya se en la elaboración de los testigos, restos de mezcla asfáltica en el martillo compactador Marshall, se pudo observar durante la práctica de este método que al trabajar con vapor en los agregados pétreos gruesos se absorbe el contenido de betumen sin dificultad alguna pero en el agregado pétreo fino no absorbe

con facilidad puede que sea debido a la absorción de este agregado en los poros de sus partículas.

#### Datos extractor de vacíos (Método E)

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**98** Datos para 5.30 % de betumen

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	SEDECA % de betumen
1	1234.9	5.30
2	1236.7	
3	1245.5	

Fuente: Elaboración propia

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**99** Resultados de betumen post extraer de vacíos

N° Testigo	Peso real testigo (gr)	Peso seco post extractor (gr)	% de Betumen post extraer	Valor no registrado
1	1226.3	1162.0	5.24	0.06
2	1228.1	1164.5	5.18	0.12
3	1236.8	1172.5	5.20	0.10

Fuente: Elaboración propia

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**100** Datos para verificar la correlación de la curva de calibración del extractor de vacíos

<b>% Real</b>	<b>Lectura de porcentaje extraído</b>
5.3	5.24
	5.18
	5.20

Fuente: Elaboración propia

### Ecuación obtenida de la curva de calibración extractor de vacíos

$$y = 1.0185x - 0.0035$$

$$R^2 = 0.9998$$

Donde:

y = % de contenido de betumen (valor real de testigo).

x = % de contenido de betumen (lectura extraída por método de vacíos).

**TABLA** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..101  
Resultados de la ecuación de la curva de calibración

<b>% real</b>	<b>Resultados de la curva de calibración (extractor de vacíos)</b>	<b>Diferencia entre el valor real y el resultado de la curva de calibración</b>
5.3	5.333	0.033
	5.271	0.029
	5.291	0.009
	<b>Promedio</b>	<b>0.002</b>

Fuente: Elaboración propia

### Análisis

La curva de Calibración del Extractor Vacíos está representada por una curva lineal, ( $y = 1.0185x - 0.0035$ ), donde cabe resaltar que la variable  $y$  = (Valor Real de testigo),  $x$  = (lectura extraída por Centrifugo). Dando así una correlación de Pearson  $R^2 = 0.9998$  (valor aproximado a 1) lo que significa un acercamiento posible al valor real.

Una vez hecho uso de la ecuación de la curva de calibración se obtuvo resultados próximos al valor real con una diferencia de 0.2 %, esta diferencia se debe al valor no registrado es decir a la pérdida de Betumen ya se en la elaboración de los testigos, restos de mezcla asfáltica en el martillo compactador Marshall.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

En el presente proyecto se logró realizar a partir de un estudio de investigación, el **análisis de los métodos de ensayo para la determinación cuantitativa del contenido de betumen en mezclas asfálticas en caliente**, de tal manera se pudo verificar el comportamiento del Extractor centrífugo, extractor de vacío y extractor de reflujo, aplicando sus respectivos métodos permitiendo determinar una curva de calibración por cada Método de ensayo a través de la elaboración de testigo a distintos porcentajes y la evaluación de testigos de un tramo elegido.

Una vez obtenidos todos los datos de la caracterización del betumen se pudo observar que los resultados están dentro de los márgenes estipulados de calidad para cemento asfáltico de penetración 85-100 por lo tanto pudo usarse como material para la elaboración de los testigos para el presente proyecto.

Para el presente proyecto se obtuvo el material pétreo de la comunidad de La Pintada donde se encuentra ubicada la chancadora, una vez realizado los ensayos para la caracterización de los materiales se pudo observar que si cumplían con las especificaciones de las normas ASTM y AASHTO por lo que fueron favorables y adecuadas para la elaboración de mezclas asfálticas.

En una mezcla asfáltica es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; considerando los resultados de las curvas correspondientes, estabilidad, peso unitario y porcentaje de vacíos, se logró establecer que el contenido óptimo de betumen es de 6.01%.

La curva de calibración del Extractor de Reflujo está representada por una regresión lineal ( $y = 1.0136x - 0.0526$ ), donde cabe resaltar que la variable  $y$  = (Valor Real de testigo),  $x$  = (lectura extraída por Centrifugo). Dando así una correlación de Pearson  $R^2 = 1$  (valor muy exacto) lo cual significa un acercamiento posible al valor real. Se pudo observar durante la práctica de este método que al trabajar con vapor en los agregados pétreos gruesos se absorbe el contenido de betumen sin dificultad alguna pero en el agregado pétreo fino no absorbe con facilidad puede que sea debido a la absorción de este agregado en los poros de sus partículas.

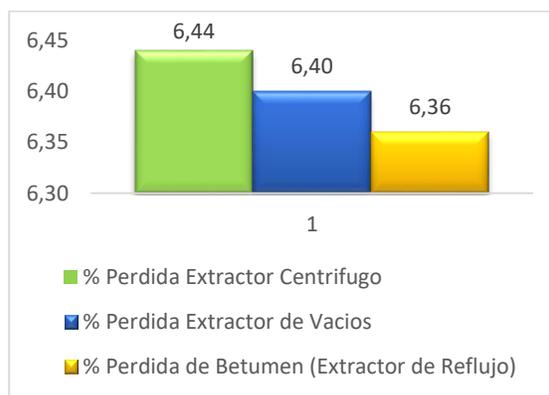
La curva de Calibración del Extractor Centrifugo está representada por una curva lineal, ( $y = 1.0191x - 0.0466$ ), donde cabe resaltar que la variable  $y$  = (Valor Real de testigo),  $x$  = (lectura extraída por Centrifugo). Dando así una correlación de Pearson  $R^2 = 0.9998$  (valor muy próximo a 1) lo cual significa un acercamiento posible al valor real. Una vez hecho uso de la ecuación de la curva de calibración se obtuvo resultados próximos al valor real con una diferencia de 1,3 %, esta diferencia se debe al valor no registrado es decir a la pérdida de Betumen ya se en

la elaboración de los testigos, restos de mezcla asfáltica en el martillo compactador Marshall, o en los poros del agregado pétreo.

La curva de Calibración del Extractor Vacíos está representada por una curva lineal, ( $y = 1.0185x - 0.0035$ ), donde cabe resaltar que la variable  $y$  = (Valor Real de testigo),  $x$  = (lectura extraída por Centrifugo). Dando así una correlación de Pearson  $R^2 = 0.9998$  (valor aproximado a 1) lo que significa un acercamiento posible al valor real.

Se ha podido verificar que el ensayo Extractor de Centrifugo (Método A), es una metodología práctica, simple y de fácil aplicación para la extracción de contenido de betumen debido a su metodología y disolvente que ayuda a que el ensayo sea más eficiente, ya que el asfalto se desprende con facilidad de los agregados pétreos debido a que la taza del aparato rota a una velocidad variable y controlada hasta 3600 rpm por lo no se pierde cantidad de betumen. Se puede apreciar en el siguiente cuadro el promedio con más cercanía al valor de porcentaje real de betumen es el obtenido por el método de extracción de centrifugo. Por lo tanto, se llega a la conclusión de que este método es el más óptimo y factible para la extracción de contenido de betumen.

<b>% Real de BETUMEN</b>	<b>6.5</b>
% Pérdida de Betumen (Extractor Centrifugo)	6.44
% Pérdida de Betumen (Extractor de Vacíos)	6.40
% Pérdida de Betumen (Extractor de Reflujo)	6.36



Los ensayos de Extractor de Vacíos y Extractor de Reflujo son aptos para ser utilizado en etapas de laboratorio con ambiente abierto ya sea para una

investigación o control de calidad, se usa para controlar el contenido de betumen cuando la elaboración de la mezcla se hace en una mezcla en planta asfáltica.

### **RECOMENDACIÓN**

Es recomendable conocer y averiguar todas las especificaciones que se deben de tener en cuenta en la construcción de una carpeta asfáltica nueva, el riego de liga a utilizarse, así como también sobre los ensayos de caracterización de los materiales.

Se recomienda que al trabajar con mezcla asfáltica a temperaturas altas se utilice el equipo necesario de seguridad para su manipuleo: guantes de cuero o lona, gafas de seguridad, ropa adecuada de preferencia un overol y mascarillas (tipo barbijo) para evitar la inhalación de gases u otras sustancias.

Es recomendable usar como diluyente gasolina para estos métodos debido que el laboratorio no es un lugar abierto por lo tanto el uso de otros diluyentes como ser tricloroetileno o terpeno sería muy peligroso para el ser humano si se usaría en un laboratorio cerrado.

Se recomienda tener mucho cuidado al utilizar los equipos para realizar la medición ya que se necesita precisión de los mismos.

Se recomienda tener en cuenta que al utilizar el martillo Marshall manualmente tener cuidado con los golpes ya que al no hacerse a la misma intensidad pueden variar en los resultados.

Se recomienda mantener la dosis de residuo de 0.5 litros por metro cuadrado o de 0.004 litros para testigos de 100 mm utilizados en laboratorio para obtener los mejores resultados, también tomar en cuenta como parámetro razonable para obtener el porcentaje de contenido de betumen.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Ardanaz , C. (2004). Utilizacion de grillas en obras de repavimentacion asfáltica.
- Carreteras, A. B. (2014). Manual de ensayos de suelos y Materiales.Asfaltos. La Paz.
- Cornejo Perez, J. M. (24 de mayo de 2014). Análisis de optimización del riego de liga en la colocacion de carpetas asfalticas en caliente. Obtenido de <http://www.ri.ues.edu.com>
- Francesio, C. (1969). la adherencia entre capas en los pavimentos flexibles. Argentina: comisión permanente del asfalto.
- Institute, A. (2001). Principios de construccion de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente.
- NTL-382108. (s.f.). evaluacion de la adherencia entre capas de firma mediante en ensayo de corte LCD. Obtenido de <http://www.carreteros.org>
- Pacheco, H. M. (2015). manual de carreteras. Tarija.
- PAVCO, A. . (2006). Manual de diseno. colombia: Amanco-PAVCO.
- Pavimentos, d. d. (1990). identificacion de falla en pavimentos y tecnicas de reparacion. republica dominicana: direccion general de reglamentos y sistemas.
- Pavimentos, M. d. (26 de enero de 2012). Obtenido de <http://www.fing.uach.mx>

- Rodriguez, A. P. (2006). Manual de Mantenimiento y Rehabilitación de pavimentos flexibles.
- Rojas, I. O. (enero de 2013). Evaluación de la adherencia entre capas de pavimento empleando diferentes emulsiones asfálticas.
- Tecnologías, U.-F. d. (2015). Agregados pétreos y materiales asfálticos.
- Vargas, P. V. (12 de septiembre de 2012). Estudio experimental de soluciones de construcción para asegurar la adherencia entre capas asfálticas. Obtenido de <http://www.tesischilenas>.