

**ANEXO 1:**  
**CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS**

## **A.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS**

La caracterización de los agregados se realizó mediante los manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia.

### **A.1.1 Método Para El Cuarteo De Muestras (ASTM C 702)**

Objeto.

Los diferentes tipos y tamaños de áridos requieren que la muestra sea representativa para los varios ensayos a los que será sometida. El material obtenido en terreno debe ser siempre mayor que la cantidad de la muestra requerida para el ensayo.

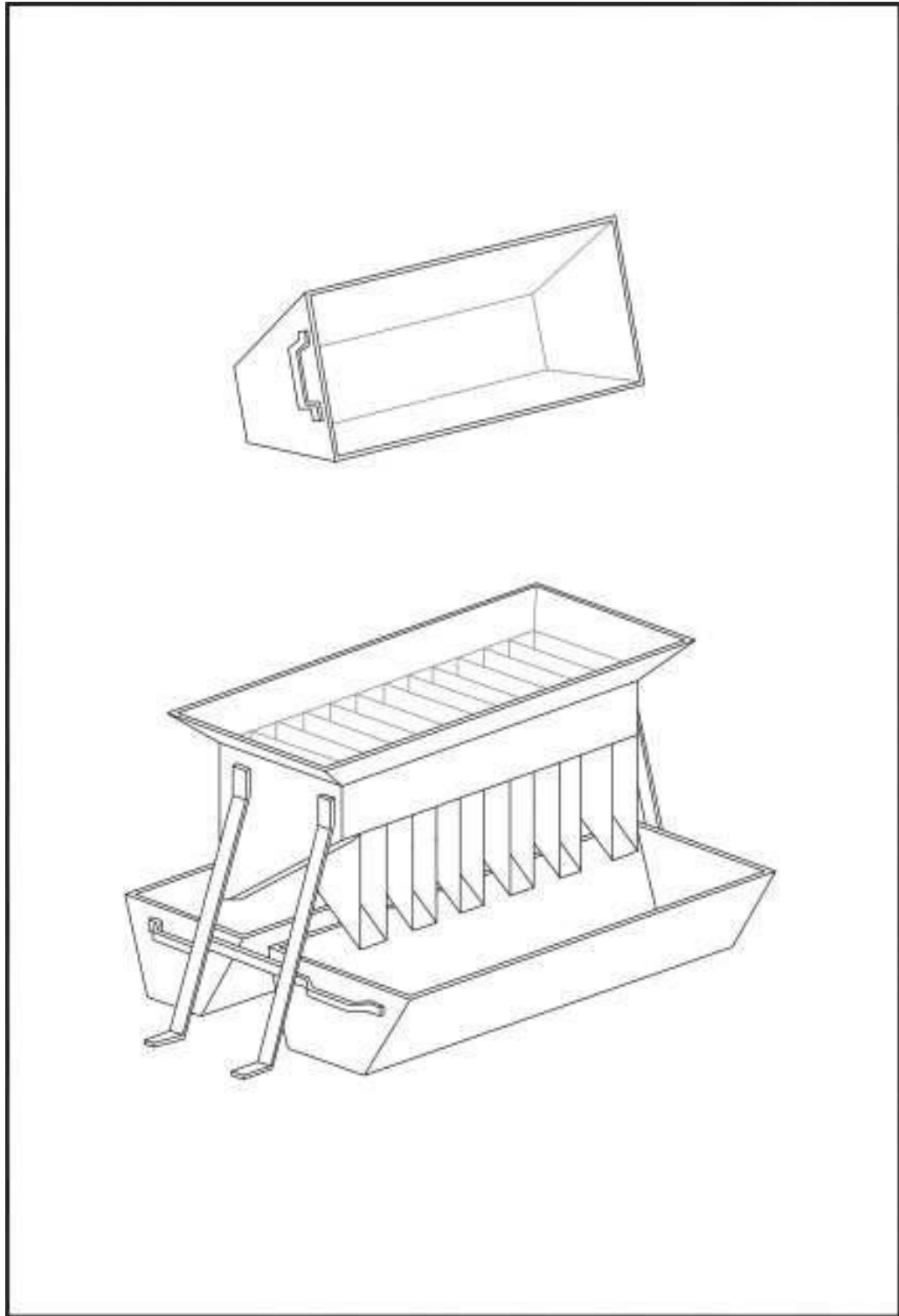
El material debe ser reducido en cantidad de acuerdo al ensayo que se le va a practicar. Este método establece dos procedimientos, uno manual y otro mecánico, para la reducción de muestras de suelo, áridos y agregados pétreos en general. Los mejores resultados se obtienen usando un cuarteador metálico de un tamaño adecuado.

Procedimiento con cuarteador metálico o mecánico.

El método para reducir a muestras menores que 100 kg mediante un cuarteador metálico es el siguiente: (Ver Figura).

- a) Coloque la muestra en uno de los recipientes del cuarteador.
- b) Vacíe la muestra en el cuarteador.
- c) Separe el material correspondiente a uno de los recipientes.
- d) Repita el procedimiento con el material del recipiente restante hasta obtener el tamaño de muestra requerido

Figura: Cuarteador



### A.1.2 Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM E 40 AASHTO T27-99)

#### Objeto.

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

#### Definiciones

- Granulometría: Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido.
- Porcentaje parcial retenido en un tamiz: Porcentaje en masa correspondiente a la fracción directamente retenida en un determinado tamiz.
- Porcentaje acumulado retenido en un tamiz: Porcentaje en masa de todas las partículas de mayor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la suma del porcentaje parcial retenido en ese tamiz más todos los porcentajes parciales retenidos en los tamices de mayor abertura.
- Porcentaje acumulado que pasa por un tamiz: Porcentaje en masa de todas las partículas de menor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la diferencia entre el 100% y el porcentaje acumulado retenido en ese tamiz.

#### Equipos y materiales.

- Balanza: Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 g.
- Tamices
  - a) Son tejidos, de alambre y abertura cuadrada, y sus tamaños nominales de abertura pertenecen a las series que se indican en la tabla.

Tamaños nominales de abertura	
mm	ASTM
75	(3")
63	(2 ½")
50	(2")
37,5	(1 ½")
25	(1")
19	(¾")
12,5	(½")
9,5	(⅜")
6,3	(¼")
4,75	(N° 4)
2,36	(N° 8)
2,0	(N° 10)
1,18	(N° 16)
0,6	(N° 30)
0,3	(N° 50)
0,15	(N° 100)
0,075	(N° 200)

Nota 1: Cuando no se cuente con tamices de aberturas nominales en mm, los tamaños nominales de los tamices podrán ser los correspondientes a ASTM.

- b) Los marcos de los tamices deben ser metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Deben ser circulares, con diámetros de 200 mm y 300 mm, preferentemente para los gruesos.
  - c) Cada juego de tamices debe contar con un depósito que ajuste perfectamente, para la recepción del residuo más fino.
  - d) Cada juego de tamices debe contar con una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material.
- Horno: Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.
  - Herramientas y accesorios: Espátulas, brochas, recipientes para secado, recipientes para pesaje, etc.

Procedimiento.

Muestras.

En primer lugar la muestra debe ser representativa, por lo que tiene que usar el cuarteador mecánico, este proceso se repite hasta obtener la cantidad necesaria para la realización del ensayo.

Las cantidades ensayadas, dependerán del tipo de suelo que tienen, así por ejemplo: para suelos granulares se estima aproximadamente unos 5000 gramos, para suelos arcillosos sin presencia de piedras puede variar entre 3.00 a 500 gramos.

Método general

- Se procede a secar el material, hasta que los granos no se encuentren pegados o formando grumos, en caso de existir grumos hay que buscar la forma de desintegrarlos, pero sin triturar las partículas verdaderas del suelo, para ello se pueden ayudar con rodillos de madera, u otro objeto parecido.
- Los tamices para disponer para la parte gruesa son: tamices 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4, No. 10 y base.
- Los tamices para la parte fina del suelo son N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y base.
- El método consiste en hacer pasar el material por los tamices de acuerdo a la disposición mencionada, para ello se tiene que realizar un agitado de los tamices por el tiempo de 15 minutos.
- El tamizado puede ser manual o mecánico utilizando el Rop-Tap, aunque luego hay que realizar una revisión para observar si es que ya no pasa material por cada malla.
- Si el tamizado es manual, es muy práctico utilizar bandejas en donde se depositará cada material que pasa, luego estos identificarlos de acuerdo a la malla que haya utilizado.
- Proceder a realizar el pesaje del material retenido en cada malla y lo que pasa en el tamiz N° 200.

Partiendo por el tamiz N° 10

- Una vez realizada la granulometría del grueso, se tiene un saldo de muestra que pasa por el tamiz N° 10. Este, a veces, puede ser en cantidad considerablemente grande, por lo que resulta moroso tamizar tanto material fino a lo que se realiza la siguiente propuesta.
- Del material que pasa el tamiz N° 10, se considera pesar solamente 300 gramos, siempre referido al peso total utilizado en el ensayo.
- Luego este material se hace pasar hasta el tamiz N° 200 respectivamente,
- Pesar los materiales retenidos en las mallas, además del material retenido en la base o pasante del N° 200.
- Este trabajo se tiene que corregir en la planilla, columna del porcentaje que pasa, con la siguiente regla de tres.

$$\% T_{ci} = \frac{T_i * T_{10}}{100}$$

Donde:

% Tci = Porcentaje que pasa corregido en cada malla del fino.

Ti= Porcentaje que pasa calculado para cada tamiz en el fino

T10= Porcentaje que pasa el tamiz N° 10

- Si la parte fina del material contiene todavía grumos pequeños, entonces se debe realizar el ensayo por el método del lavado

Método del lavado

- Este método, se usa para el material que pasa el tamiz N° 10, donde también se puede realizar con una representación menor de peso total. Esto quiere decir que se puede usar un peso de 300 gramos aproximadamente.
- La muestra hay que dejar reposar en agua hasta que se sature completamente, haciendo que el suelo tenga características de barro o lodo. Generalmente se usa un tiempo cómodo de 24 horas o más, si es que se requiere un tiempo más corto utilizar 5 horas.
- Sin perder material se introduce la muestra en la malla N° 200, luego con la ayuda del agua se puede lavar el suelo, hasta que el agua pasante tome aspectos más claro sin sedimentación.

- Luego el material que se retiene en la malla N° 200, disponer dentro de un recipiente para realizar un secado del suelo y proceder a re-tamizar por las mallas.
- Pesar el material retenido en cada malla dispuesta por el fino.
- De la misma manera se tiene que corregir los porcentajes que pasan de acuerdo a la formula mencionada en el párrafo anterior.

Cálculos.

Una vez que se obtiene los pesos retenidos en cada malla disponer los datos en la planilla anexa a esta, de tal forma que se puedan realizar los respectivos cálculos.

- Toda granulometría debe tener un cálculo de humedad higroscópica, en donde se obtendrá el peso seco que servirá de base para los cálculos.

$$\% W = \frac{C}{E} * 100$$

$$M_{SS} = \frac{H * 100}{100 + \%W}$$

Muestra total seca

$$P_{st} = G + M_{SS}$$

Donde:

A = Suelo húmedo + Plato (gr).

W = Porcentaje de humedad.

B = Suelo seco + Plato (gr).

F = Muestra total húmeda (gr).

C = Peso del agua. A-B (gr).

G = Agregado grueso (Ret. N° 10).

D = Peso del plato (gr).

H = Pasa N° 10 húmedo (gr).

E = Peso del suelo seco. B-D.

I = Pasa N° 10 seco (gr).

Tabla de resultados de Granulometría



### A.1.3 Peso unitario.

#### Objeto.

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

#### Equipo.

- Balanza sensible al 0.5 % del peso de la muestra.
- Una varilla de 5/8 de diámetro y unos 60 cm de largo.
- Un juego de recipientes cilíndricos. El tamaño del molde cilíndrico que se debe usar depende del tamaño máximo de las partículas.

Para agregados cuyas partículas tengan un diámetro máximo de 1/2" o menor se usa un molde de 1/10 de pie cubico.

Para agregados cuyas partículas tengan un diámetro máximo comprendido 1/2" y 1 1/2" se usa un molde de 1/2 pie cubico.

Para agregados cuyas partículas tengan un diámetro máximo mayor de 1 1/2" se usa un molde de 1 pie cubico.

#### Calibración de los moldes.

Los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando el peso del agua a 16,7 °C requeridos para llenarlos. El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.

#### Preparación de la muestra.

Se usa una muestra representativa del agregado a la humedad ambiente. Por ningún motivo debe secarse dicha muestra en el horno.

#### Procedimiento.

- Se llena el molde hasta una tercera parte de su capacidad, nivelándose el agregado con las manos. Luego por medio de la varilla se apisona uniformemente esta capa 25 veces. No se debe golpear el fondo del molde.
- Se repite el procedimiento anterior dos veces hasta llenar el molde. Las partículas de la superficie se deben enrasar con la varilla teniendo como guía el borde del molde.
- Se pesa el molde junto con el agregado.
- Nota: Si se trata de obtener el peso unitario de la mezcla de dos agregados, se sigue el mismo procedimiento indicado anteriormente pero se debe determinar, por medio de una curva de compactación que proporción de cada agregado produce el máximo peso unitario de la mezcla.

#### Cálculo.

El peso neto del agregado o de la mezcla dentro del molde se obtiene restando del peso más la muestra compactada el peso del molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se obtiene multiplicando su peso neto por el inverso del volumen del molde.

Tabla de resultados de peso unitario de los agregados.

#### A.1.4 Peso específico y absorción del agregado grueso.

##### Objeto.

El ensayo que a continuación se describe tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas.

##### Equipo.

- Una balanza que tenga 5 Kg o más y sensibilidad de 0,5 gr.
- Cesto cilíndrico de tela metálica (la cesta deberá ser hecha de malla metálica N° 4) de 20 cm de diámetro y de 20 cm de altura.
- Un recipiente en el que se pueda sumergir la cesta de alambre y un aparato para suspender la cesta cuando se sumerge, con el fin de obtener el peso de la muestra sumergida.

##### Procedimiento.

- Se lava el material a fin de remover el polvo o cualquier impureza que cubra la superficie de las partículas, luego se sumerge la muestra con agua por un periodo de 24 horas.
- Se saca la muestra del agua y se secan las superficies con una toalla hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie. Se deberá evitar la evaporación durante esta operación.
- Se obtiene después el peso de la muestra con sus partículas saturadas.
- La muestra se vuelve a sumergir después de ser pesada y se determina el peso de la muestra así sumergida.
- Se seca la muestra en un horno a temperatura constante (105°C) y luego se deja enfriar y se pesa.

##### Muestra.

La muestra consiste aproximadamente de 5 Kg de material separado por el método de cuarteo y de manera que todo el material quede retenido sobre el tamiz de 3/8".

Cálculos.

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

A = Peso de la muestra secada en el horno, en gr.

B = Peso de la muestra saturada pero son superficie seca, en gr.

C = Peso de la muestra saturada dentro del agua, en gr.

$$\text{Peso específico en condicion saturado y superficie seca} = \frac{B}{B - C}$$

(B-C) = Éste término es la pérdida de peso de la muestra sumergida y significa por lo tanto el volumen de agua desplazado o sea el volumen de la muestra.

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

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

A.1.5 Peso específico y absorción del agregado fino.

Objeto.

El ensayo que se describe a continuación tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, 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.

Equipo.

- Balanza con capacidad de 1 Kg y sensibilidad de 0,1 gr.
- Matraz de 500 ml de capacidad (se usa el mismo que se requiere para las pruebas de suelos).

- Molde cónico y una varilla.

Muestra.

Se selecciona una muestra de 1 Kg que puede ser obtenida por cuarteo; luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de gua y se deja allí por un periodo de 24 horas.

Procedimiento.

- Se coloca la muestra del recipiente y se seca de manera uniforme.
- Con el fin de inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca primero en el molde cónico y luego se retira éste. Si la muestra tiene todavía alguna humedad en la superficie, conservará la forma cónica y si por el contrario la humedad de la superficie ha sido eliminada, la arena rodará libremente cuando se levante el cono.
- Por lo general si la arena rueda libremente la primera vez que se coloca el cono, esto es indicación de que la muestra ha sido secada más de lo necesario y que ha perdido su condición de saturada; por consiguiente, se deberá rociar con agua y dejar reposar por 30 minutos antes de volver a colocarla en el cono.
- Se coloca 500 gr de la muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el tope. Con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y luego se coloca en una baño a temperatura constante de 20°C, se deberán hacer las correcciones del caso siguiendo la curva de calibración. Luego se obtiene el peso del matraz lleno.
- Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura constante (105 °C) y se pesará.

Cálculos.

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V - W}$$

Donde:

A = Peso en el aire de la muestra secada en al horno, en gr.

V = Volumen del frasco, en ml.

W = Peso en gramos o volumen en ml del agua agregado al frasco.

$$\text{Peso específico en condición saturado y superficie seca} = \frac{500}{V - W}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500 - A}{A} * 100$$

Tabla de resultados peso específico de los agregados

#### A.1.6 Determinación del porcentaje de desgaste del agregado grueso por medio de la máquina de Los Ángeles.

##### Introducción.

Este método se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles, así como también evaluar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos, de tamaños mayores de 19 mm (¾").

Este ensayo ha sido ampliamente usado como un indicador de la calidad relativa o la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos de similares composiciones mineralógicas. Los resultados no brindan automáticamente comparaciones válidas entre fuentes marcadamente diferentes en origen, composición o estructura.

Los límites de las especificaciones deben ser asignados con extrema precaución, considerando los tipos de agregados disponibles y su comportamiento histórico en aplicaciones finales específicas.

Es responsabilidad de quien emplee el ensayo, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad, y la aplicación de limitaciones regulatorias con anterioridad a su uso.

##### Objetivo

Determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la máquina de Los Ángeles consecuencia de la acción combinada de la abrasión, machaqueo e impacto.

##### Duración.

Para realizar el ensayo y obtener los resultados se estiman un máximo de 24 horas.

##### Equipos E Implementos.

- Máquina de desgaste de Los Ángeles.
- Balanza con capacidad de 5 Kg con apreciación de 0,1 g.
- Tamices para agregado grueso.

- Horno con control de temperatura uniforme de  $110\text{ C} \pm 5\text{ C}$ .
- Carga abrasiva o esferas metálicas de fundición o de acero.
- Tamiz N° 4, N° 8 y N° 12.

#### Preparación de la muestra.

- La muestra para el ensayo se obtendrá mediante el tamizado separando las distintas fracciones del agregado según el método acorde a la granulometría del material a ensayar.

- Las fracciones se deben lavar separadamente.

Nota 1: Si el agregado está libre de costras o de polvo, puede eliminarse el procedimiento de lavado antes y después del ensayo.

- La eliminación del lavado posterior rara vez reducirá la pérdida medida en más del 0.2 % del peso de la muestra original.

Si se quisiera obtener mayor información sobre la uniformidad de la muestra que se está ensayando, determinando la pérdida después de 100 revoluciones en el caso de agregados de tamaño mayor de 37.5 mm (1 ½”) y 200 revoluciones para agregados con tamaño 19 mm (¾”), no se debe lavar el material retenido en el tamiz N° 12.

- Una vez lavado el material se procede a introducirlo en el horno a una temperatura de 105 °C y 110 °C hasta que su peso sea constante.
- Se deberá elegir en la tabla N° 1 “Granulometrías representativas de los agregados, para la selección del método de ensayo a utilizar”, la gradación más parecida al agregado que se va a usar en la obra tomando en cuenta el tamaño del agregado para la ejecución del ensayo.

Se deberá trabajar con la unión de la tabla de especificaciones de la norma ASTM C 131 y la tabla de la norma ASTM C 535 para agregados de tamaño menor de 37.5 mm (1½”) y agregados de tamaño mayor de 19 mm (¾”).

Nota 2: Se debe tomar en cuenta la cantidad de material a utilizar tanto para agregados de tamaño menor de 37.5 mm (1 ½”) como para agregados de tamaño mayor de 19 mm (¾”), en el caso de este último se necesita mayor cantidad de



material ya que entre sus retenidos se encuentran los agregados más grandes y por lo tanto se le debe aplicar mayor número de revoluciones o vueltas.

#### Procedimiento.

- Una vez seleccionado el método a utilizar y determinado el peso de la muestra a usar, se colocan en la máquina de Los Ángeles la muestra y el número de esferas correspondiente para el ensayo.

Nota 3: Se debe ajustar bien en la tapa de la ventana de alimentación de la máquina para evitar perder material fino durante el ensayo.

- Luego, se pone a funcionar su mecanismo, a una velocidad que debe estar comprendida entre 30 y 33 revoluciones por minuto (rpm) y el número total de vueltas deberá ser el especificado en el método a utilizar. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica constante.
- Una vez cumplido el número de vueltas prescritas, se descarga el material del cilindro y se procede a efectuar una separación en la muestra ensayada del material más grueso, luego éste se lava y se seca en horno a una temperatura comprendida entre los  $110 \pm 5$  °C.
- La fracción fina que retiene el tamiz N° 12, se une con el material más grueso y la muestra pasante se desecha.
- La relación de pérdida después de 100, 200, 500 o 1000 revoluciones, dependiendo del agregado especificado para los dos tipos de ensayo, no debería exceder en más de 0.20 % para materiales de dureza uniforme. Cuando se realice esta determinación se procurará evitar toda pérdida de muestra
- La muestra total, incluido el polvo producido por el desgaste, se vuelve introducir en la máquina hasta completar las vueltas especificadas por el método elegido para el ensayo.
- Un procedimiento recomendable es que después de descargar el material a ensayar dentro del cilindro de acero se ajusten fuertemente los tornillos de la tapa de la máquina, que en muchos casos permite que el material que está en proceso de ensayo se pase entre las fisuras de los bordes de la tapa y se pierda.

Carga de desgaste.

La carga de desgaste que debe llevar la máquina de los Ángeles consiste de bolas o esferas de acero de 1 7/8" de diámetro y cuyo peso puede variar entre 390 y 450 gr.

Cálculos y resultados

El cálculo de este ensayo es muy sencillo, siendo el porcentaje de desgaste igual a la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado en tanto por ciento del peso original y se denota de la siguiente forma:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde.

Pf = Peso final

Pi = Peso inicial

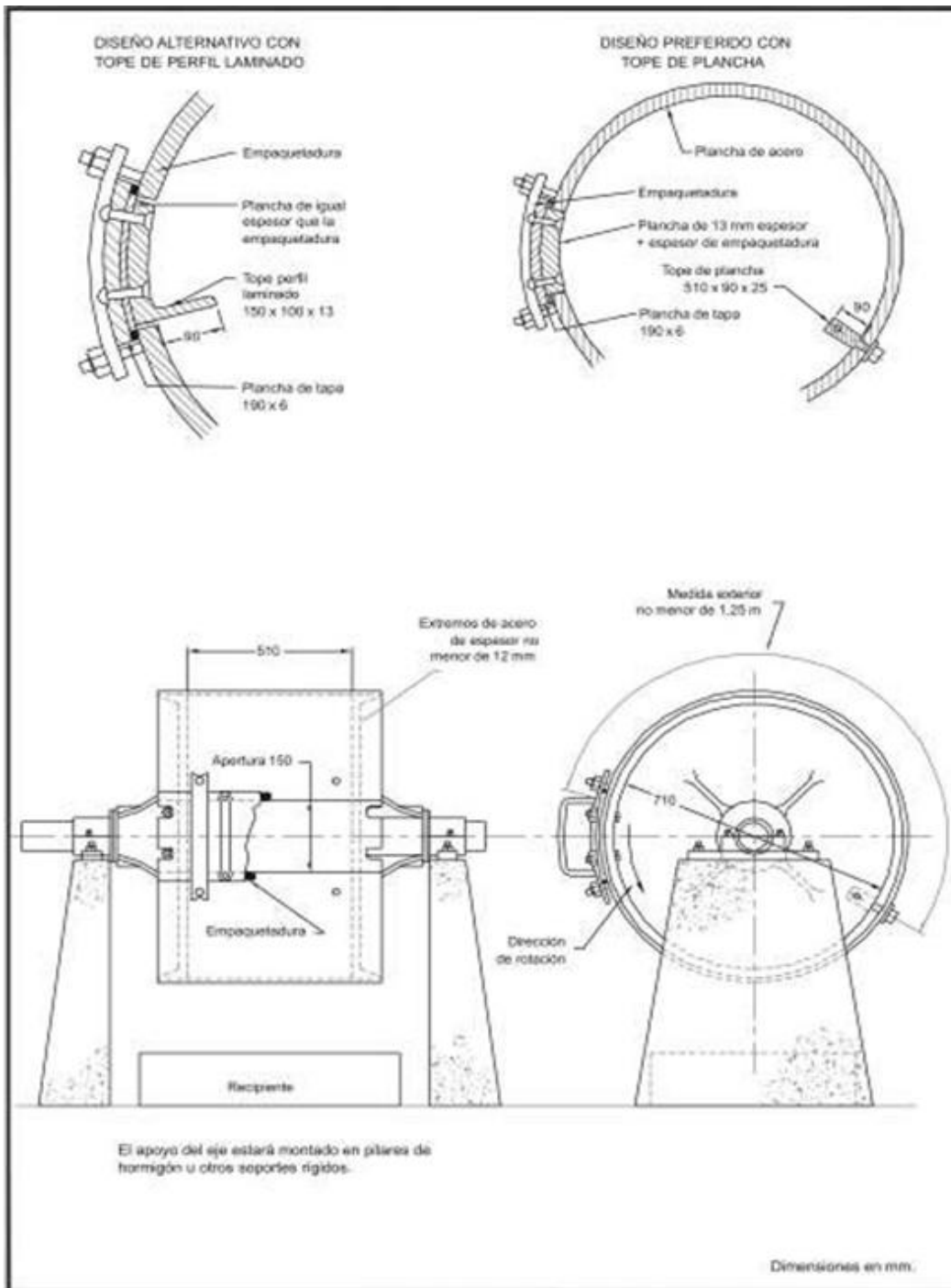


FIGURA A0511\_1 MÁQUINA DE LOS ÁNGELES



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA  
 CARRERA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS

TABLA GRANULOMÉTRICA FORMADA - DISEÑO MARSHALL

ELABORADO POR: PAZ FARIAS ANA KAREN

FECHA:

Tamices	tamaño (mm)	Grava	Gravilla	Arena	Grava	Gravilla	Arena	TOTAL				Especificaciones	
		Peso Ret.	Peso Ret.	Peso Ret.	al	al	al	% Ret	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Mínimo	Máximo
		%	%	%	0,25	0,25	0,50	1,00					
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,0	0,54	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,14	0,14	0,14	99,87	90	100
1/2"	12,5	45,74	0,05	0,00	11,44	0,01	0,00	11,45	11,45	11,45	88,55	-	-
3/8"	9,50	80,95	2,43	0,00	20,24	0,61	0,00	20,85	20,85	20,85	79,16	56	80
Nº4	4,75	99,57	78,03	5,70	24,89	19,51	2,85	47,25	47,25	47,25	52,75	35	65
Nº8	2,36	99,89	98,71	26,48	24,97	24,68	13,24	62,89	62,89	62,89	37,11	23	49
Nº16	1,18	99,89	98,71	44,35	24,97	24,68	22,18	71,83	71,83	71,83	28,18	-	-
Nº30	0,60	99,89	98,71	59,82	24,97	24,68	29,91	79,56	79,56	79,56	20,44	-	-
Nº50	0,30	99,89	98,71	80,79	24,97	24,68	40,40	90,04	90,04	90,04	9,96	5	19
Nº100	0,15	99,89	98,71	89,21	24,97	24,68	44,61	94,26	94,26	94,26	5,75	-	-
Nº200	0,075	99,89	98,71	91,00	24,97	24,68	45,50	95,15	95,15	95,15	4,85	2	8
BASE	-	99,99	99,99	97,94	25,00	25,00	48,97	98,97	98,97	98,97	1,04	-	-
					231,53	193,19	247,65	672,4					

Paz Farias Ana Karen  
**Laboratorista**

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
**JEFE DE LAB. SE SUELOS Y HORMIGONES**



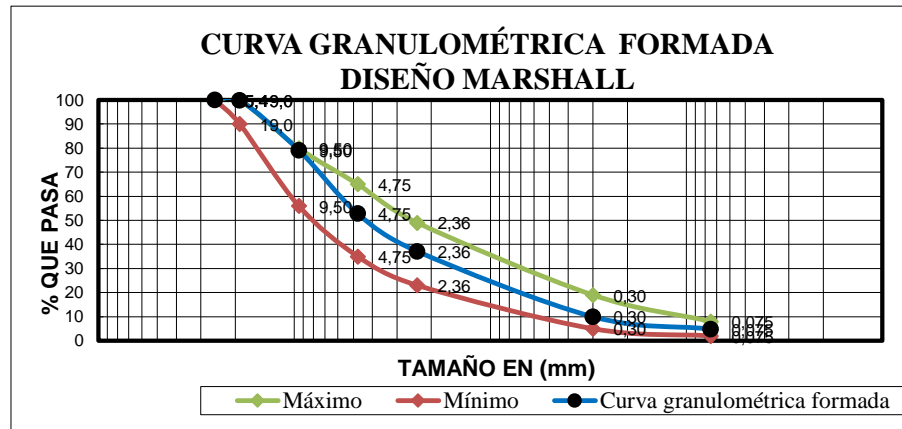
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS

**CURVA GRANULOMÉTRICA FORMADA - DISEÑO MARSHALL**

**PROYECTO:** ANALISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TERMICA DE MEZCLAS FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL METODO UCL

**ELABORADO POR:** PAZ FARIAS ANA KAREN

**FECHA:** JUNIO 2022



Paz Farias Ana Karen  
**Laboratorista**

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
**JEFE DE LAB. SE SUELOS Y HORMIGONES**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

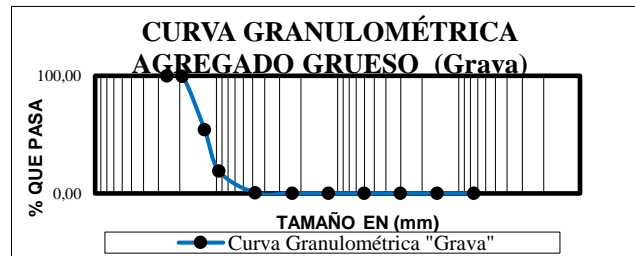
LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES  
GRANULOMETRÍA - AGREGADO GRUESO (GRAVA)

PROYECTO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE MEZCLAS  
FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL MÉTODO UCL

ELABORADO POR: PAZ FARIAS ANA KAREN

FECHA: JUNIO 2022

Peso Total (gr.)		5000			
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	27,00	27,00	0,54	99,46
1/2"	12,5	2260,00	2287,00	45,74	54,26
3/8"	9,50	1760,50	4047,50	80,95	19,05
Nº4	4,75	931,20	4978,70	99,57	0,43
Nº8	2,36	15,70	4994,40	99,89	0,11
Nº16	1,18	0,00	4994,40	99,89	0,11
Nº30	0,60	0,00	4994,40	99,89	0,11
Nº50	0,30	0,00	4994,40	99,89	0,11
Nº100	0,15	0,00	4994,40	99,89	0,11
Nº200	0,075	0,00	4994,40	99,89	0,11
BASE	-	4,90	4999,30	99,99	0,01
SUMA		4999,3			
PÉRDIDAS		0,7			
MF =		7,80			



Paz Farias Ana Karen  
Laboratorista

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
Enc. Lab. de Hormigones y Resist Mat.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES

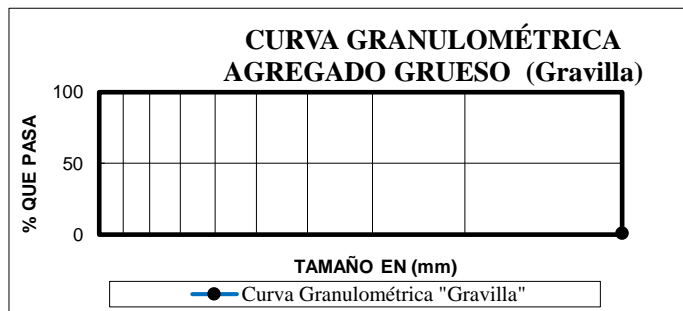
GRANULOMETRÍA - AGREGADO GRUESO (GRAVILLA)

PROYECTO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE MEZCLAS  
FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL MÉTODO UCL

ELABORADO POR: PAZ FARIAS ANA KAREN

FECHA: JUNIO 2022

Peso Total (gr.)		5000			
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	2,50	2,50	0,05	99,95
3/8"	9,50	119,00	121,50	2,43	97,57
Nº4	4,75	3780,00	3901,50	78,03	21,97
Nº8	2,36	1034,00	4935,50	98,71	1,29
Nº16	1,18	0,00	4935,50	98,71	1,29
Nº30	0,60	0,00	4935,50	98,71	1,29
Nº50	0,30	0,00	4935,50	98,71	1,29
Nº100	0,15	0,00	4935,50	98,71	1,29
Nº200	0,075	0,00	4935,50	98,71	1,29
BASE	-	64,20	4999,70	99,99	0,01
SUMA		4999,7			
PÉRDIDAS		0,3			
MF =		6,73			



Paz Farias Ana Karen  
Laboratorista

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
Enc. Lab. de Hormigones y Resist Mat.



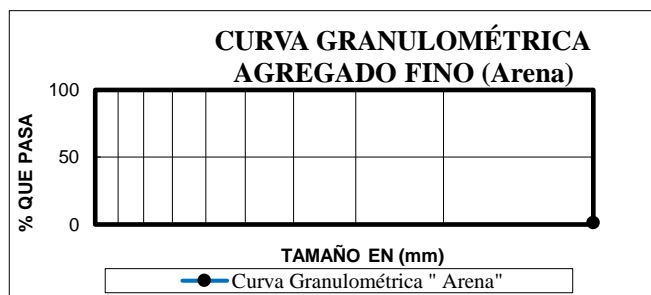
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
ORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES  
GRANULOMETRÍA - AGREGADO FINO (ARENA)

PROYECTO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE MEZCLAS  
FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL MÉTODO UCL

ELABORADO POR: PAZ FARIAS ANA KAREN

FECHA: JUNIO 2022

Peso Total (gr.)		963,33			
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1/2	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	54,89	54,89	1,10	98,90
Nº8	2,36	200,24	255,13	5,10	94,90
Nº16	1,18	172,09	427,22	8,54	91,46
Nº30	0,60	149,01	576,23	11,52	88,48
Nº50	0,30	202,08	778,31	15,57	84,43
Nº100	0,15	119,62	897,93	89,21	10,79
Nº200	0,075	23,98	921,91	91,00	9,00
BASE	-	21,60	943,51	18,87	81,13
SUMA		943,5			
PÉRDIDAS		19,8			
MF =		2,22			



Paz Farias Ana Karen  
Laboratorista

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
Enc. Lab. de Hormigones y Resist





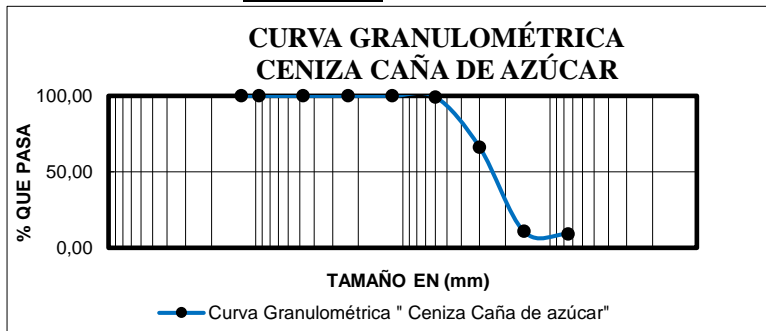
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES  
GRANULOMETRÍA - AGREGADO FINO (FILLER CENIZA)

PROYECTO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE MEZCLAS  
FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL MÉTODO UCL

ELABORADO POR: PAZ FARIAS ANA KAREN

FECHA: JUNIO 2022

Peso Total (gr.)		500			
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1/2	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
N°4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
N°8	2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
N°16	1,18	0,00	0,00	0,00	100,00
N°30	0,60	3,35	3,35	0,07	99,93
N°50	0,30	165,80	169,15	3,38	96,62
N°100	0,15	182,00	351,15	89,21	10,79
N°200	0,075	102,70	453,85	91,00	9,00
BASE	-	44,30	498,15	9,96	90,04
SUMA		498,2			
PÉRDIDAS		1,9			
MF =		1,84			



Paz Farias Ana Karen  
Laboratorista

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
Enc. Lab. de Hormigones y Resist Mat.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**PESO UNITARIO - AGREGADO GRUESO (GRAVA)**

**PROYECTO:** ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE MEZCLAS  
FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL MÉTODO UCL

**ELABORADO POR:** PAZ FARIAS ANA KAREN

**FECHA:** JUNIO 2022

**PESO UNITARIO SUELTO**

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm <sup>3</sup> )	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	5725,00	9455,13	18755,00	13030,00	1,38
2	5725,00	9455,13	18545,00	12820,00	1,36
3	5725,00	9455,13	18815,00	13090,00	1,38
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,37</b>

**PESO UNITARIO COMPACTADO**

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm <sup>3</sup> )	PESO RECIP. + MUESTRA COMPACTADO (gr)	PESO MUESTRA COMPACTADO (gr)	PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	5725,00	9455,13	19970,00	14245,00	1,51
2	5725,00	9455,13	20215,00	14490,00	1,53
3	5725,00	9455,13	20245,00	14520,00	1,54
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,52</b>

Paz Farias Ana Karen  
**Laboratorista**

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
Enc. Lab. de Hormigones y Resist Mat.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**PESO UNITARIO - AGREGADO GRUESO (GRAVILLA)**

**PROYECTO:** ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE MEZCLAS FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL MÉTODO UCL

**ELABORADO POR:** PAZ FARIAS ANA KAREN

**FECHA:** JUNIO 2022

**PESO UNITARIO SUELTO**

<b>MUESTRA N°</b>	<b>PESO RECIPIENTE (gr)</b>	<b>VOLUMEN RECIPIENTE (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA SUELTA (gr)</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
1	5725,00	9455,13	18885,00	13160,00	1,39
2	5725,00	9455,13	18875,00	13150,00	1,39
3	5725,00	9455,13	18895,00	13170,00	1,39
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,39</b>

**PESO UNITARIO COMPACTADO**

<b>MUESTRA N°</b>	<b>PESO RECIPIENTE (gr)</b>	<b>VOLUMEN RECIPIENTE (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>PESO RECIP. + MUESTRA COMPACTADO (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA COMPACTADO (gr)</b>	<b>PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
1	5725,00	9455,13	20055,00	14330,00	1,52
2	5725,00	9455,13	20210,00	14485,00	1,53
3	5725,00	9455,13	20295,00	14570,00	1,54
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,53</b>

Paz Farias Ana Karen  
**Laboratorista**

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
**Enc. Lab. de Hormigones y Resist Mat.**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**PESO UNITARIO - AGREGADO FINO (ARENA)**

**PROYECTO:** ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE MEZCLAS FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL MÉTODO UCL

**ELABORADO POR:** PAZ FARIAS ANA KAREN

**FECHA:** JUNIO 2022

**PESO UNITARIO SUELTO**

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm <sup>3</sup> )	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2603,60	3320,88	7311,70	4708,10	1,42
2	2603,60	3320,88	7355,20	4751,60	1,43
3	2603,60	3320,88	7398,00	4794,40	1,44
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,43</b>

**PESO UNITARIO COMPACTADO**

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm <sup>3</sup> )	PESO RECIP. + MUESTRA COMPACTADO (gr)	PESO MUESTRA COMPACTADO (gr)	PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2603,60	3320,88	7599,60	4996,00	1,50
2	2603,60	3320,88	7651,80	5048,20	1,52
3	2603,60	3320,88	7710,70	5107,10	1,54
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,52</b>

Paz Farias Ana Karen  
**Laboratorista**

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
**Enc. Lab. de Hormigones y Resist Mat.**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**PESO ESPECÍFICO - AGREGADO GRUESO (GRAVA)**

**PROYECTO:** ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE MEZCLAS FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL MÉTODO UCL

**ELABORADO POR:** PAZ FARIAS ANA KAREN

**FECHA:** JUNIO 2022

<b>MUESTRAS N°</b>	<b>PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA "B" (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA "C" (gr)</b>	<b>PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>% ABSORCIÓN</b>
1	4908,10	5000,00	3148,00	2,65	2,70	2,79	1,87
2	4903,90	5000,00	3149,00	2,65	2,70	2,79	1,96
3	4906,50	5000,00	3151,00	2,65	2,70	2,79	1,91
<b>PROMEDIO</b>				<b>2,65</b>	<b>2,70</b>	<b>2,79</b>	<b>1,91</b>

Paz Farias Ana Karen  
**Laboratorista**

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
**Enc. Lab. de Hormigones y Resist Mat.**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES

PESO ESPECÍFICO - AGREGADO GRUESO (GRAVILLA)

PROYECTO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE MEZCLAS FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL MÉTODO UCL

ELABORADO POR: PAZ FARIAS ANA KAREN

FECHA: JUNIO 2022

MUESTRA N	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA "B" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA "C" (gr)	PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	% DE ABSORCIÓN
1	4857,70	5000,00	3125,00	2,59	2,67	2,80	2,93
2	4854,30	5000,00	3126,00	2,59	2,67	2,81	3,00
3	4850,90	5000,00	3128,00	2,59	2,67	2,82	3,07
<b>PROMEDIO</b>				<b>2,59</b>	<b>2,67</b>	<b>2,81</b>	<b>3,00</b>

Paz Farias Ana Karen  
Laboratorista

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
Enc. Lab. de Hormigones y Resist Mat.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES  
PESO ESPECÍFICO - AGREGADO FINO (ARENA)

PROYECTO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE MEZCLAS FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL MÉTODO UCL

ELABORADO POR: PAZ FARIAS ANA KAREN

FECHA: JUNIO 2022

MUESTRA N°	PESO MUESTRA (gr)	PESO DE MATRÁZ (gr)	MUESTRA + MATRAZ + AGUA (gr)	PESO DEL AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr)	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	VOLUMEN DEL MATRÁZ "V" (ml)	P. E. A GRANEL (gr/cm3)	P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm3)	P. E. APARENTE (gr/cm3)	% DE ABSORCIÓN
1	500	170	989,2	319,20	491,90	500,00	2,72	2,77	2,85	1,62
2	500	170	988,3	318,30	491,50	500,00	2,71	2,75	2,84	1,70
3	500	170	989,1	319,10	491,00	500,00	2,71	2,76	2,86	1,80
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,71</b>	<b>2,76</b>	<b>2,85</b>	<b>1,71</b>

Paz Farias Ana Karen  
Laboratorista

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
Enc. Lab. de Hormigones y Resist Mat.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES ASTM C-131

AGREGADO: GRAVA

PROYECTO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE MEZCLAS FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL MÉTODO UCL

ELABORADO POR: PAZ FARIAS ANA KAREN

FECHA: JUNIO 2022

TABLA ASTM C-131 DE REQUERIMIENTO SEGÚN EL TAMAÑO DE MATERIAL QUE SE TENGA

GRADACIÓN		A	B	C	D
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL AEMPLEAR (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"	Nº4			2500±10	
Nº4	Nº8				5000±10
PESO TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
Nº DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACION		15	15	15	15

DATOS DE LABORATORIO

GRADACIÓN B

PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	PESO RETENIDO
3/4"	1/2"	2500,00
1/2"	3/8"	2500,00

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

GRADACIÓN	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACIÓN ASTM
B	5000	3892,8	22,14	35% MAX

Paz Farias Ana Karen  
Laboratorista

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
Enc. Lab. de Hormigones y Resist Mat.





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES ASTM C-131

AGREGADO: GRAVILLA

PROYECTO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE MEZCLAS FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL MÉTODO

UCL

ELABORADO POR: PAZ FARIAS ANA KAREN

FECHA: JUNIO 2022

TABLA ASTM C-131 DE REQUERIMIENTO SEGÚN EL TAMAÑO DE MATERIAL QUE SE TENGA

GRADACIÓN		A	B	C	D
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL AEMPLEAR (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>
NÚMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
N°DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACION		15	15	15	15

DATOS DE LABORATORIO

GRADACIÓN C

PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	PESO RETENIDO
3/8"	1/4"	2500,00
1/4"	N° 4	2500,00

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

GRADACIÓN	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACIÓN ASTM
C	5000	3806,9	23,86	35% MAX

Paz Farias Ana Karen  
Laboratorista

Ing. Moisés Díaz Ayarde  
Enc. Lab. de Hormigones y Resist Mat.

**ANEXO 2:**

**CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO**

## A.2. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

### A.2.1 Método para determinar la densidad (ASTM D71-94 AASHTO T229-97)

#### Objeto

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

#### Equipos y materiales

- Picnómetro, de 24 a 30 ml de capacidad (ver Figura).
- Balanza analítica.
- Baño termostático capaz de mantener la temperatura requerida en un rango de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .
- Termómetro de  $-8$  a  $32^{\circ}\text{C}$ , con una precisión de  $0,1^{\circ}\text{C}$ .
- Agua destilada.

#### Calibración del picnómetro

- Determinar la masa del picnómetro limpio y seco con su tapa, y designar como A, aproximando a 0,01 gr.
- Llenar el picnómetro con agua destilada y ajustar firmemente la tapa girándola. Sumergir totalmente el picnómetro en un vaso con agua destilada. Colar el vaso con el picnómetro en el baño de agua de forma que el agua del baño quede al mismo nivel que la 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 designar como B, aproximando a 0,01 gr.

Nota 1: Se deben tomar las precauciones necesarias para que los equipos y agua estén a la temperatura de ensaye, y para evitar derrames del picnómetro.

Nota 2: La temperatura de ensaye debe ser igual a la temperatura de calibración del picnómetro.

## Procedimiento

### Procedimiento para asfaltos líquidos de baja viscosidad

- Calentar el material asfáltico a la temperatura requerida y verterlo dentro del picnómetro hasta llenarlo, evitando la inclusión de burbujas de aire. Insertar la tapa firmemente en el picnómetro y limpiar con un paño el exceso de material que se hubiere derramado por el orificio. Determinar la masa del picnómetro y su contenido y designando como C, aproximando a 0,01 gr.
- Calcular la densidad del asfalto como:

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

Donde:

$\rho_b$  = Densidad del agua a la temperatura de ensaye (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_w$  = Densidad del asfalto a la temperatura de ensaye (Kg/m<sup>3</sup>)

- Si la viscosidad impide seguir el procedimiento descrito, aplicar lo que se señala en Procedimientos para Cementos Asfálticos.

### Procedimientos para cementos asfálticos

- Calentar una pequeña cantidad de material hasta una condición fluida, mediante la aplicación de calor en forma suave; debe 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. Se deben tomar precauciones para evitar que el material toque las paredes del picnómetro por encima de su nivel final, y evite 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 la tapa incluida. Designar esta masa como C, aproximando a 0,01 g.

- Terminar de llenar con agua destilada, insertar la tapa firmemente, sumergirlo completamente en un vaso lleno de agua destilada y colocar en el baño, de acuerdo a lo indicado e, a la temperatura de ensaye por unos 30 min. Retirar el picnómetro del vaso y secar con un paño. Determinar la masa y designar como D, aproximando a 0,01 g.
- Determine la densidad del asfalto de acuerdo a la fórmula:

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

#### A.2.2 Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO T79-96)

Objetivo.

El método define la determinación de los puntos de inflamación y combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos del 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 método de ensaye.

Nota 1: Emplee el método del punto de inflamación mediante la copa abierta Tag (Método A0401) si el punto de inflamación está por debajo de 79°C.

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,
- Protector. - Se recomienda un protector cuadrado de 460 mm y 610 mm de alto que tenga un frente abierto.
- Termómetro. - Un termómetro que tenga un rango de -6 a 400°C y cumpla con los requisitos del 11c o 28c de ASTM E1.

Nota 2: Hay equipos para punto de inflamación automáticos, que son ventajosos por la economía en el tiempo de ensaye, porque permiten el uso de muestras pequeñas y tienen otros factores que los hacen recomendables. Al usarlos se debe asegurar que todas las

instrucciones del fabricante para calibración, ajustes y operaciones del instrumento se respeten. En casos de duda el punto de inflamación debe determinarse manualmente y se considerará como ensaye patrón.

#### Preparación del aparato

- Arme 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. Ensayes en campanas de laboratorio (Nota 3) o en lugares donde no existan corrientes de aire son confiables.

Nota 3: Con algunas muestras, cuyos vapores o productos de la pirólisis son objetables, es permisible colocar el aparato con un protector en una campana ajustando el flujo de aire de modo que los vapores se puedan sacar sin causar corrientes de aire sobre la copa de ensaye durante los últimos 55°C previo al punto de inflamación.

- Lave 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 remuévalos con una esponja de acero. Limpie la copa bajo un chorro de agua fría y seque por unos pocos minutos sobre una llama, placa caliente o en un horno y elimine los últimos indicios de solvente y agua. Enfríe la copa por lo menos a 55°C por debajo del punto de inflamación esperado antes de usarla.
- Mantenga el termómetro en posición vertical con el bulbo a una distancia de 6,5 mm del fondo de la copa 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.

#### Procedimiento.

- Llene la copa a una temperatura conveniente (Nota 4), no excediendo 100°C por encima de lo esperado para el 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 del nivel 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 muestra

que esté fuera del aparato, vacíe, limpie y vuelva a llenar. Destruya cualquier burbuja de aire sobre la superficie de la muestra (Nota 5).

Nota 4: Las mezclas viscosas deben calentarse hasta que estén razonablemente fluidas antes de ser vertidas dentro de la copa. Para el cemento asfáltico la temperatura durante el calentamiento no debe exceder de 110°C por encima del punto de ablandamiento esperado. Cuidados extremos se deben tener con los asfaltos líquidos, los que deben calentarse solamente a una temperatura mucho menor a la que pueden ser vertidos.

Nota 5: La copa puede llenarse fuera del aparato, incorporando el termómetro y una vez colocada la copa con la muestra en el aparato, se corrige el nivel antes de empezar el ensaye. Se usa una cuña de 6,5 mm de espesor para obtener la distancia correcta desde el extremo inferior del bulbo al fondo de la copa.

- La luz de la llama de prueba se ajusta a un diámetro de 3,0 a 5,0 mm y se compara con el tamaño del cabezal.
- Aplique calor inicialmente de modo que la temperatura de la muestra suba a una 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, disminuya 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 min.
- Comenzando, 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 saldiámetro 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 1 s. Durante los últimos 17°C, suba la temperatura previa al punto de inflamación. Evite alteraciones del vapor en la copa de ensaye poniendo atención en movimientos descuidados o en aires suaves cercanos a la copa.

- Informe 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.
- Para determinar el punto de combustión continúe calentando de modo que la temperatura de la muestra se eleve a una razón de 5 a 6°C por min. Continúe aplicando la llama a intervalos de 2°C hasta que el material se inflame y continúe quemándose como mínimo 5 s. Informe la temperatura de este punto como el punto de combustión del material.

Cálculos.

- Informe 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.

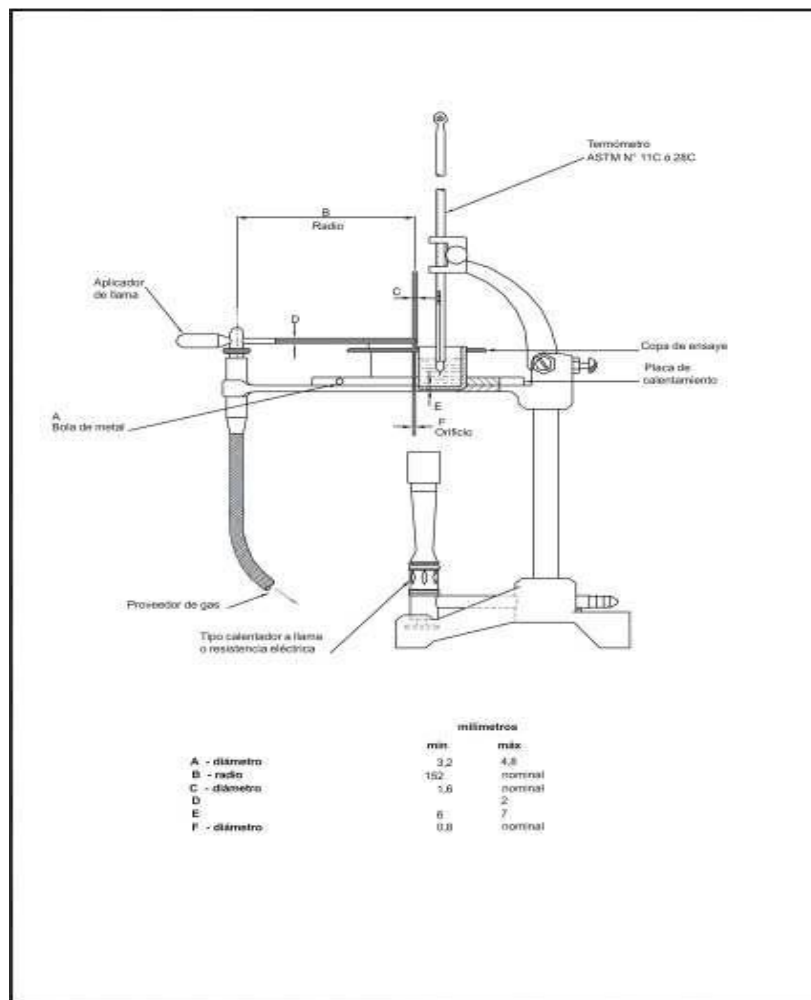


FIGURA A0106\_1 COPA ABIERTA DE CLEVELAND



### A.2.3 Método para determinar la ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T51-00)

#### 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 la 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  $25 \pm 0,5$  °C y a una velocidad de 5 cm/min  $\pm 5\%$ . Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

#### Equipos y materiales.

- Moldes. - El molde, de bronce o zinc, debe ser similar en diseño al mostrado en la figura, los extremos b y b' se denominan clips y las partes a y a', lados del molde. Cuando se arme el molde se obtendrá la briqueta especificada, con las dimensiones que se indican:
  - A: Distancia entre los centros: 111,5 a 113,5 mm
  - B: Largo total de la briqueta: 74,5 a 75,5 mm.
  - C: Distancia entre clips: 29,7 a 30,3 mm.
  - D: Borde del clip: 6,8 a 7,2 mm.
  - E: Radio del clip: 15,75 a 16,25 mm.
  - F: Ancho mínimo de la sección transversal: 9,9 a 10,1 mm.
  - G: Ancho de la boca del clip: 19,8 a 20,2 mm.
  - H: Distancia entre los centros de radio: 42,9 a 43,1 mm.
  - I: Diámetro del orificio del clip: 6,5 a 6,7 mm.
  - J: Espesor: 9,9 a 10,1 mm
- Baño de agua. - Mantenga el baño a la temperatura de ensaye especificada, con una tolerancia de  $\pm 0,1$  °C. El volumen mínimo de agua es de 10 l. Sumerja la muestra a una profundidad no menor que 10 cm. y apóyela 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, 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 63 C con un rango de temperatura entre  $- 8$  y  $32$  °C; debe cumplir los requerimientos descritos en la norma ASTM E1.

#### Procedimiento.

- Preparación del molde. - Arme el molde sobre una placa base; cubra cuidadosamente la superficie de la placa y las superficies interiores de los lados a y a' del molde con una película delgada de desmoldante para prevenir que el material por ensayar se adhiera. La placa sobre la cual se coloca el molde debe estar perfectamente plana y a nivel, de modo que la superficie inferior del molde esté completamente en contacto.
- Moldeo de las muestras para el ensaye. - Caliente 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. Tamice la muestra fundida a través del tamiz  $0,3$  mm (N° 50); Luego continúe revolviendo y vierta el material dentro del molde. Durante el llenado cuide no tocar ni desarreglar el molde, de modo que no se distorsione la briqueta; vierta 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 coloque en el baño de agua mantenido a la temperatura de ensaye especificada por  $30$  min. Luego recorte 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.

Nota 1: Como desmoldante se puede usar vaselina, silicona u otros.

- Conservación de las muestras a la temperatura de ensaye. - Coloque 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 quite la briqueta de la placa, separe las partes a y a' e inmediatamente ensaye la briqueta.

- Ensaye. - Enganche los anillos de cada extremo de los clips a las clavijas del ductilímetro y sepárelos a la velocidad uniforme especificada hasta la ruptura de la briqueta; se permite una tolerancia de  $\pm 5\%$  para la velocidad especificada. Mida 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  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Informe.

- Un ensaye normal es aquél en el cual el material entre los 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. Se informará el promedio de tres ensayos normales como la ductilidad de la muestra, indicando la temperatura de ensaye.
- Si el material bituminoso llega a tener contacto 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 obtiene un ensaye normal en tres ensayos sucesivos en iguales condiciones, infórmela ductilidad como “no obtenible” bajo esas condiciones de ensaye.

Figura 1.

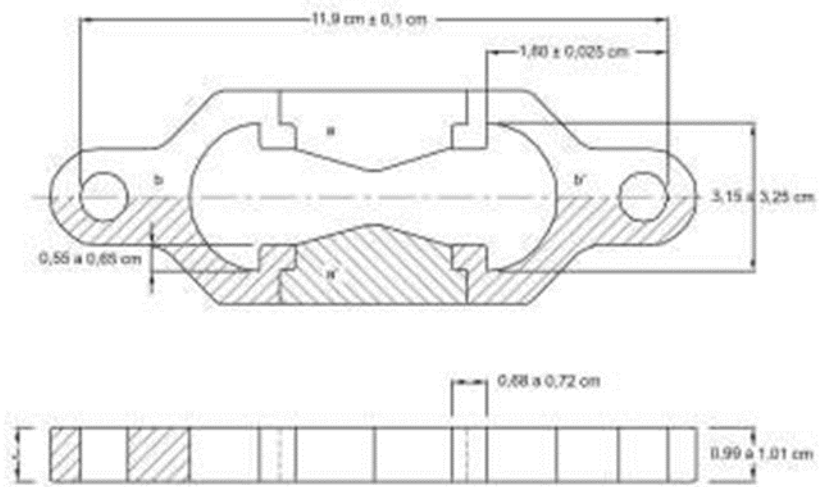
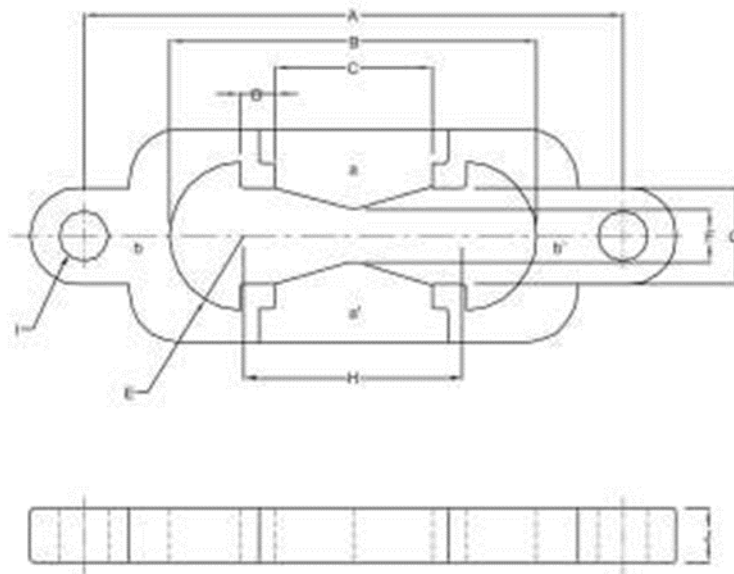


Figura 2.



#### A.2.4 Método de ensaye de penetración (ASTM D 5 AASHTO T49-97)

Objeto.

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

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

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  $47,5 \pm 0,05$  g. El peso total de la aguja y el vástago será de  $50,0 \pm 0,05$  g. Para cargas totales de 100 g y 200 g, dependiendo de las condiciones es en que se aplique el ensaye, se estipulan pesas de  $50,0 \pm 0,05$ g y  $100,0 \pm 0,05$ 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 (ver Figura A0103\_1) 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 1,02 mm.

Será simétricamente afilada en forma cónica, con un ángulo entre  $8,7$  y  $9,7^\circ$  con respecto al largo total del cono, el que debe ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja. La variación total axial de la intersección del cono y la superficie recta no debe exceder de 0,2 mm. La punta truncada del cono debe tener un diámetro entre 0,14 y 0,16 mm y en ángulo recto al eje de la aguja con una tolerancia de  $2^\circ$ .

El filo de la superficie de la punta truncada debe ser bien formado y libre de rugosidad. Cuando la textura de la superficie se mide de acuerdo con la American National Standard B 46.1 o ISO468, la aspereza superficial (Ra) del cono aguzado debe estar entre 0,2 y 0,3  $\mu\text{m}$  como promedio aritmético.

La aspereza superficial (Ra) del eje de la aguja debe estar entre 0,025 y 0,125 micrones.

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

La masa del conjunto casquete - aguja será de  $2,50 \pm 0,05$  g (se puede perforar con taladro o limar el casquete, para controlar el peso). Coloque marcas de identificación individual en el casquete de cada aguja.

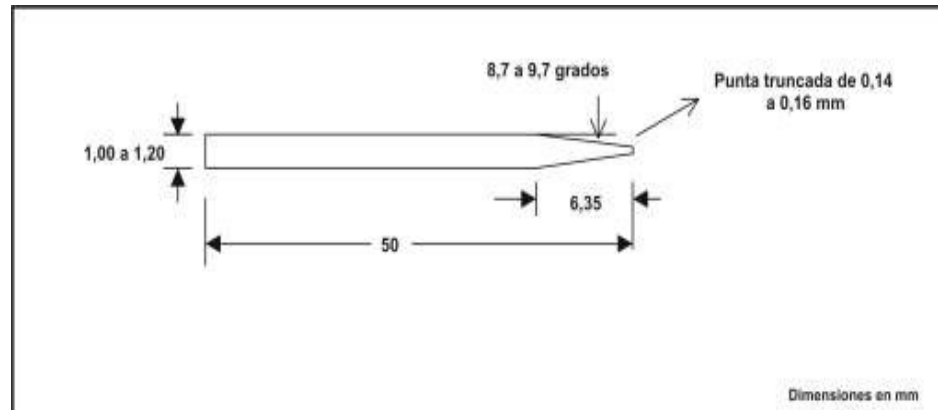


FIGURA A0103\_I AGUJA PARA ENSAYE DE PENETRACIÓN

- 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 10l y un sistema apto para mantener la temperatura a  $25^{\circ}$  C, o cualquiera de ensaye, con una tolerancia de  $\pm 0,1^{\circ}$ 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 (Nota 1).

Nota 1: Se recomienda usar agua destilada en el baño. Se debe evitar la contaminación del baño de agua por agentes superficiales activos, agentes residuales u otros agentes químicos, pues su presencia puede afectar los valores de penetración.

- Transportador de cápsula. - Debe tener una capacidad mínima de 350 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 precisión esté dentro de  $\pm 0,1$  s para un intervalo de 60 s.

También se puede utilizar un contador de segundos audible, ajustado para proporcionar un pulso cada 0,5 s. El tiempo para un intervalo de cuenta de 11 pulsos debe ser de  $5 \pm 0,1$  s.

Cualquier dispositivo automático que se vaya a conectar al penetrómetro debe ser cuidadosamente calibrado para proporcionar el intervalo de ensayo deseado dentro de  $\pm 0,1$  s.

- Termómetros. - Se pueden usar termómetros de vidrio de rango adecuado, con subdivisiones y escala máxima de error de  $0,1^{\circ}\text{C}$ , o cualquier otro aparato que mida temperaturas con igual exactitud, precisión y sensibilidad. Los termómetros deben cumplir los requisitos de la Especificación ASTM E1. Los termómetros comúnmente utilizados son los que se indican en la Tabla A0103\_1:

<b>ASTM N°</b>	<b>Rango</b>	<b>Temperatura de ensaye</b>
17 C	19 a 27 °C	25 °C
63 C	- 8 a + 32 °C	0 a 4 °C
64 C	25 a 55 °C	46 °C

El termómetro para el baño de agua se debe calibrar periódicamente de acuerdo con el método de ensaye ASTM E 77.

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 para ensayos especiales, tales como los que se muestran en la Tabla

<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

En los casos especiales deben informarse las condiciones especificadas de ensaye.

Extracción y preparación de la muestra.

- Caliente 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, de acuerdo con el método de ensaye ASTM D 36, o no más allá de 90°C sobre el punto de ablandamiento para el caso de los asfaltos. No caliente la muestra por más de 30 min. y evite la incorporación de burbujas en la muestra.
- Vierta 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 una cápsula pequeña (90 ml) y 1,5 y 2 h, para el más gran (175 ml). Cuando utilice el transportador de cápsula, coloque las muestras junto con éste en el baño de agua, manteniéndolas a la temperatura de ensaye. Las muestras en cápsulas pequeñas deben permanecer entre 1 y 1,5 h y en las más grandes, entre 1,5 y 2 h.



## Procedimiento.

- Examine la aguja y guía para comprobar que esté perfectamente seca y libre de otros materiales extraños. Si la penetración esperada excede 350 use una aguja larga; en otros casos, utilice una aguja corta. Limpie la aguja de penetración con tolueno u otro solvente adecuado, seque con un paño limpio e inserte la aguja en el penetrómetro. A menos que se especifique otra cosa, coloque el peso de 50 g sobre la aguja, obteniendo una masa total de  $100 \pm 0,1$  g.
- Si el ensaye se hace con el penetrómetro en el baño, coloque la cápsula con muestra directamente sumergida sobre la superficie de éste (Nota 2), y deje la cápsula con la muestra en el baño, completamente cubierta con agua. Si el ensaye se realiza con el penetrómetro fuera del baño, coloque la muestra en el transportador de cápsula, cúbrala completamente con agua a la temperatura del baño (constante) y ubique el transportador sobre la superficie del penetrómetro.

Nota 2: Para ensayos arbitrarios, las penetraciones a temperaturas diferentes de  $25^{\circ}\text{C}$  deben realizarse sin remover la muestra del baño.

- Posicione 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, para lo cual emplee una fuente luminosa (Nota 3).

Nota 3: La posición de la aguja se puede visualizar mejor con la ayuda de un tubo de iluminación de polimetil metacrilato.

- Haga 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 a no menos de 10 mm entre uno y otro. Si se usa el transportador de cápsula, retorne la muestra y el transportador al baño de agua entre determinaciones; use una aguja limpia para cada determinación.

Si la penetración es mayor que 200, use un mínimo de tres agujas, dejándolas en la muestra hasta completar las tres penetraciones.

#### A.2.5 Método para determinar la viscosidad cinemática (ASTM D 2170 AASHTO T201-01)

Objeto.

Este método abarca los procedimientos para determinar la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos, aceites de caminos y residuos destilados de asfaltos líquidos, todos a 60°C, y de cementos asfálticos a 135°C, en el rango de 30 a 100.000 cSt (Nota 1).

Los resultados de este método pueden usarse para calcular la viscosidad cuando la densidad del material a la temperatura de ensaye es conocida o puede determinarse.

Nota 1: Este método es apropiado para ser usado a otras temperaturas, pero la precisión está basada solamente en la determinación en asfaltos cortados y aceites de caminos a 60 °C y cementos asfálticos a 135°C en el rango de viscosidad de 30 a 6.000 cSt.

Definiciones.

Viscosidad cinemática

Para un flujo por gravedad dado por una carga hidrostática, la presión de carga hidrostática de un líquido es proporcional a su densidad  $\rho$ . Para un viscosímetro en particular, el tiempo de flujo para un volumen fijo de líquido es directamente proporcional a su viscosidad cinemática  $J = M/\rho$ , donde  $M$  es el coeficiente de viscosidad. La unidad CGS de viscosidad cinemática es 1 cm<sup>2</sup>/s llamada Stokes (1 St). La unidad SI de viscosidad cinemática es 1 m<sup>2</sup>/s y es equivalente a 10<sup>4</sup> St. Comúnmente, se usa el centistokes (1 cSt = 10<sup>-2</sup> St).

Densidad

Masa por unidad de volumen del líquido. La unidad cgs de densidad es g/cm<sup>3</sup> y la unidad SI de densidad es kg /m<sup>3</sup>.

Viscosidad

Se denomina coeficiente de viscosidad a la razón entre el esfuerzo de corte aplicado y el grado de corte. Este coeficiente es una medida de la resistencia del líquido a fluir; comúnmente se llama viscosidad del líquido. La unidad de viscosidad en el sistema CGS

es  $1 \text{ g/cm} \cdot \text{s}$  ( $1 \text{ dina} \cdot \text{s/cm}^2$ ) y se llama poise (P); la unidad SI de viscosidad es  $\text{Pa s}$  ( $\text{N} \cdot \text{s/m}^2$ ) y es equivalente a 10 P; comúnmente se usa el centipoise ( $1 \text{ cP} = 0.01 \text{ P}$ ).

Equipos y materiales.

#### Viscosímetros

Del tipo capilar, de vidrio borosilicato templado; los apropiados para este ensaye y se incluyen, entre otros, los siguientes:

- Cannon - Fenske, para líquidos opacos
- Zeitfuchs Cross - Arm
- Lantz - Zeitfuchs
- BSU - Tubo viscosímetro modificado de flujo reverso

#### Termómetros

Conforme a los requisitos para termómetros 47C y 110 C respectivamente, según ASTM E1. Deben tener un rango entre  $58,5^\circ \text{C}$  a  $61,5^\circ \text{C}$  y de  $133,5^\circ \text{C}$  a  $136,5^\circ \text{C}$ . Otro tipo de termómetros pueden utilizarse siempre que tengan una precisión, sensibilidad y seguridad igual o mayor que las prescritas en ASTM E 1.

Nota 2: Los Termómetros ASTM 47 y 110C están normalizados a “inmersión total”, lo cual significa inmersión del tope de la columna de mercurio, con el resto del vástago y la cámara de expansión en el tope del termómetro expuesto a la temperatura de la sala. La práctica de la inmersión completa del termómetro no se recomienda; cuando un termómetro está completamente sumergido las correcciones, para cada termómetro individual basada en la calibración bajo condiciones de completa inmersión, deben ser determinadas y aplicadas. Si el termómetro está completamente sumergido en el baño durante su uso, la presión del gas en la cámara de expansión puede ser más alta o más baja que durante la normalización y puede causar lecturas altas o bajas en el termómetro.

Nota 3: Información acerca de técnicas de calibración propias de termómetros se dan en ASTM E 1 y método E 77.

#### Baño

Un baño adecuado para sumergir el viscosímetro tal que el líquido del estanque o la parte superior del capilar, cualquiera esté más alto, esté a lo menos 20 mm bajo el nivel superior del baño, siendo visible el viscosímetro y el termómetro. Debe estar provisto de apoyos firmes para los viscosímetros o el viscosímetro puede ser parte integral del baño. La eficiencia del escurrimiento y el balance entre entrega y pérdida de calor debe ser tal que la temperatura media del baño no debe variar en más de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  a lo largo del viscosímetro o entre viscosímetros ubicados en distintas partes del baño.

Nota 4: El agua destilada es un líquido apropiado para el baño para determinaciones a  $60^{\circ}\text{C}$ . Los aceites transparentes con un punto de inflamación sobre  $215^{\circ}\text{C}$  son adecuados para determinaciones a  $135^{\circ}\text{C}$ . El punto de inflamación se determina según Método A0106.

#### Cronómetros

Un cronómetro u otro medidor de tiempo activado por algún medio debidamente graduado en divisiones de 0,1 s o menor y una seguridad entre un 0,05% cuando se ensaye sobre intervalos no menores que 15 min.

#### Cronómetro eléctrico

Puede usarse sólo en circuitos eléctricos cuyas frecuencias son controladas con una precisión de 0,05% o mejor.

Nota 5: Cuando se usan cronómetros eléctricos, la corriente alterna, cuya frecuencia es intermitente y no controlada continuamente, como la que abastece los sistemas públicos, pueden causar grandes errores, particularmente sobre intervalos cortos.

#### Extracción y preparación de la muestra.

Para minimizar la pérdida de constituyentes volátiles y obtener resultados reproducibles, proceda como sigue:

#### Procedimientos para asfaltos cortados y aceites de caminos

- Para alcanzar la temperatura de la sala, son apropiadas las muestras en contenedores sellados.

- Abra el contenedor con la muestra y mezcle totalmente por agitación por 30 s, teniendo cuidado para evitar la entrada de aire. Si la muestra está demasiado viscosa para su agitación, colóquela dentro del contenedor sellado en un baño u horno mantenido a  $63 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , hasta que esté suficientemente líquida para agitarla.
- Inmediatamente cargue el viscosímetro o, si el ensaye se va a realizar más tarde, vacíe aproximadamente 20 ml en uno o más contenedores limpios de capacidad 30 ml e inmediatamente selle herméticamente.
- Para materiales con viscosidad a  $60^{\circ}\text{C}$  sobre 800 cSt, caliente los 20 ml de muestra en el contenedor sellado en un horno o baño mantenido a  $63 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , hasta que esté suficientemente líquido para transferirlo en forma adecuada al viscosímetro; este calentamiento no debe exceder de 30 min.

#### Procedimiento para cementos asfálticos

- Caliente la muestra con cuidado para prevenir sobrecalentamientos locales hasta que llegue a estar suficientemente fluida para vaciarla; ocasionalmente agitar la muestra para ayudar a la transferencia de calor y asegurar uniformidad.
- Transfiera un mínimo de 20 ml en un contenedor adecuado y caliente a  $135 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ; agitando ocasionalmente para prevenir sobrecalentamientos locales, teniendo cuidado que no entre aire al interior de la muestra.

#### Procedimiento.

- Los detalles específicos de las operaciones varían según los distintos tipos de viscosímetros.
- Mantenga el baño a la temperatura de ensaye dentro de un rango de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Si es necesario haga las correcciones a las lecturas del termómetro.
- Seleccione un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor que 60 s, y precaliente a la temperatura de ensaye.
- Cargue el viscosímetro en la forma indicada para el tipo de diseño del viscosímetro.
- Deje que el viscosímetro cargado permanezca en el baño el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura de ensaye.
- Inicie el flujo de asfalto en el viscosímetro.

- Mida aproximando a 0,1 s el tiempo requerido para que el borde del menisco pase de la primera marca de tiempo a la segunda. Si el tiempo de flujo es menor de 60 s, seleccione un viscosímetro con un diámetro capilar menor y repita la operación.
- Al finalizar el ensaye, limpie el viscosímetro prolijamente mediante varios lavados con un solvente apropiado que sea completamente miscible con la muestra y luego, mediante lavados con un solvente completamente volátil. Seque el tubo, haciendo pasar en forma lenta una corriente de aire seco y filtrado a través del capilar durante 2 min. o hasta que la última traza de solvente sea removida. Periódicamente limpie el viscosímetro con ácido crómico, para remover depósitos orgánicos; lave prolijamente con agua destilada y acetona libre de residuo y seque con aire seco filtrado.

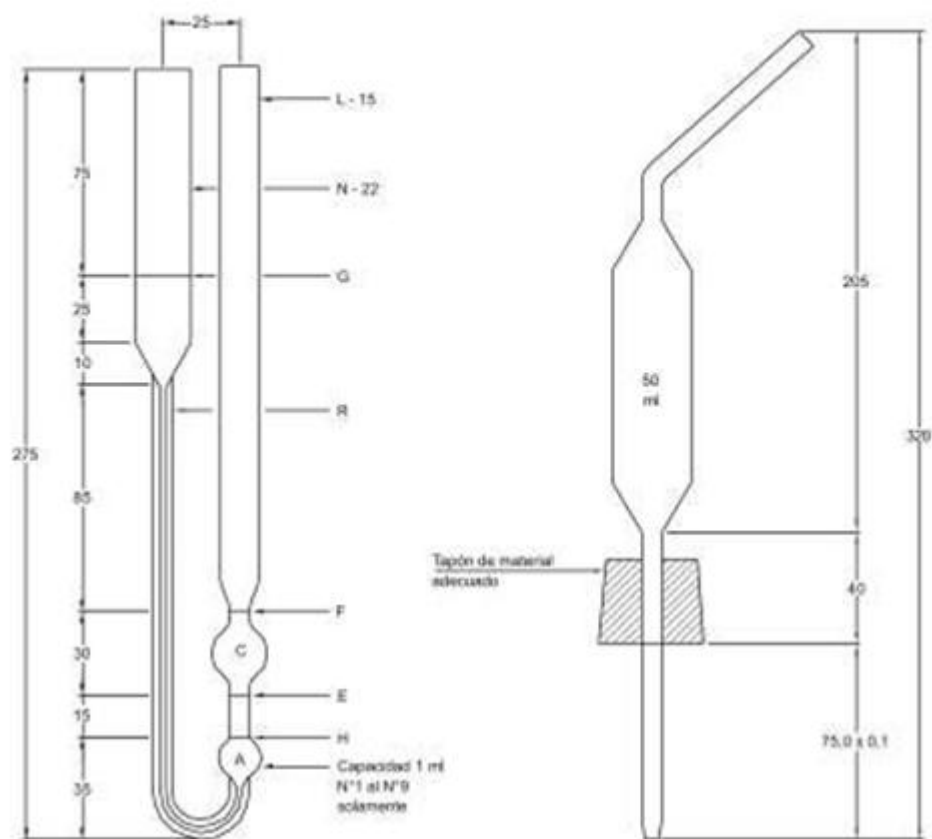
Cálculos.

Calcule la viscosidad cinemática, con tres cifras significativas, usando la siguiente ecuación. Viscosidad Cinemática (cSt) = C•t

Donde:

C: Constante de calibración del viscosímetro (cSt/s). t: Tiempo de flujo (s).

Nota 6: Otras publicaciones ASTM sobre viscosidad que pueden usarse en conjunto con los resultados determinados de acuerdo con este método son ASTM D 445, ASTM 2493 y también puede emplearse el Método A0314.



Pipeta especial

Dimensiones de pipetas y rangos de viscosidad cinemática

Número	Constante aproximada cSt/s	Rango viscosidad cinemática, cSt	Diámetro interno del tubo R, mm (± 2%)	Largo de tubo R, mm	Diámetro interno de E, F y G mm	Volumen tubo C, ml (± 5%)
4	0,1	6 a 100	1,26	185	3,0 a 3,3	4,0
5	0,3	18 a 300	1,64	185	3,0 a 3,3	4,0
6	1,0	60 a 1.000	2,24	185	3,0 a 3,3	4,0
7	3,0	180 a 3.000	2,93	185	3,3 a 3,6	4,0
8	10	600 a 10.000	4,00	185	4,4 a 4,8	4,0
9	30	1.800 a 30.000	5,5	185	6,0 a 6,7	4,0
10	100	6.000 a 100.000	7,70	210	7,70	4,0
11	300	18.000 a 300.000	10,00	210	10,00	4,0

Dimensiones en milímetros.

FIGURA A0108\_4 BE-IP-RF-U. TUBO FLUJO REVERSO VISCOSÍMETRO PARA LÍQUIDOS OPACOS

#### A.2.6 Método para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D 36 AASHTO T53-96)

Objeto.

Este método describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200°C, por medio del aparato de anillo y bola.

Generalidades.

En general, con materiales de este tipo, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida; a medida que la temperatura aumenta, el material cambia gradual e imperceptiblemente, de un estado quebradizo o excesivamente espeso y de poca fluidez, a líquidos blandos y menos viscosos. Por esta razón, la determinación del punto de ablandamiento se debe efectuar mediante un método arbitrario, pero bien definido, de manera de comparar resultados.

Definiciones.

Punto de ablandamiento

Es la menor temperatura a la que una muestra, suspendida en un anillo horizontal de dimensiones especificadas, es forzada a caer 25 mm por el peso de una bola de acero especificada, cuando la muestra se calienta mediante incrementos a una velocidad prescrita, en un baño de agua o de glicerina.

Equipos y materiales.

Equipo normal

- Anillo de bronce
- Bolas de acero con un diámetro de 9,5 mm y que pesen entre  $3,50 \pm 0,050$  g.
- Una guía para centrar la bola, construida de bronce, que tenga en general la forma y las dimensiones.

Baño



Un vaso de vidrio de 800 ml, capaz de resistir el calor, que tenga un diámetro no menor que 85 mm y una profundidad no menor que 120 mm.

#### Soporte del anillo

El anillo deberá estar sujeto sobre un soporte

Los anillos deberán sujetarse en posición horizontal, con el fondo a 25mm por encima de la superficie superior de la placa, y la superficie inferior de ésta a una distancia de por lo menos 13 mm y no mayor de 19 mm al fondo del vaso. La profundidad del líquido en el vaso deberá ser mayor que 100 mm.

El termómetro deberá suspenderse de manera que el fondo del bulbo esté a nivel con el fondo del anillo y dentro de 13 mm de distancia del anillo, pero de manera que no lo toque.

#### Termómetros

Termómetros del tipo ASTM para punto de ablandamiento bajo que tengan un rango de  $-2^{\circ}$  a  $+80^{\circ}\text{C}$  y cumplan con los requisitos para termómetro 15C, descritos en la norma ASTM E 1 y un ASTM 16C (rango 30 a  $200^{\circ}\text{C}$ ) para puntos de ablandamientos altos.

#### Extracción y preparación de la muestra

Caliente con cuidado la muestra, agitándola continuamente para prevenir un sobrecalentamiento local, hasta que esté suficientemente fluida para verterla. En ningún caso la temperatura de la muestra debe exceder de  $110^{\circ}\text{C}$  por sobre del punto de ablandamiento estimado. Elimine las burbujas de aire incorporadas en la muestra mediante agitación continua.

Lleve la muestra de asfalto a la temperatura de vertido, en un tiempo no mayor que 240 min; vierta la muestra caliente dentro de los dos anillos, precalentados aproximadamente a la temperatura de vertido. Mientras se llenan los anillos debe apoyarse sobre una placa de bronce, previamente recubierta con un agente desmoldante, para prevenir que el material bituminoso se adhiera a la placa. Enfríe por lo menos durante 30 min; en ningún caso deje transcurrir más de 4 h antes de terminar el ensaye. Las muestras que estén blandas a temperatura ambiente, se deben enfriar durante un mínimo de 30 min a una temperatura mínima de  $8^{\circ}\text{C}$  por debajo del punto de ablandamiento esperado.

Después de enfriado, corte el exceso de material con una espátula o cuchillo ligeramente caliente. En caso de que se repita el ensaye, utilice una muestra nueva y un recipiente limpio.

Procedimiento.

Procedimiento para materiales que tengan un punto de ablandamiento igual o menor que 80 °C.

Ensamble el aparato con los anillos, el termómetro y la guía para centrar las bolas en posición y llene el baño con agua fresca destilada a  $5 \pm 1^\circ\text{C}$  a una profundidad no menor de 100 mm ni mayor de 110 mm. Mantenga la temperatura del baño a  $5^\circ\text{C}$  durante 15 min, colocando el recipiente del ensaye en agua helada, si es necesario. Utilizando unas pinzas, coloque una bola previamente ajustada a la misma temperatura del baño, en cada una de las guías de centraje de las bolas.

Aplique calor de tal manera que la temperatura del líquido aumente con una velocidad uniforme de  $5^\circ\text{C}$  por min; evite el efecto de las corrientes de aire, utilizando protectores si es necesario.

Nota 1: Para el calentamiento se permite el uso de un mechero de gas o un plato caliente eléctrico: Sin embargo, el plato eléctrico precisa tener un sistema para incrementar las temperaturas sin demora, para mantener la velocidad de calentamiento.

La velocidad de aumento de temperatura deberá ser uniforme y no se promediará durante el período del ensaye. La variación máxima permisible para cualquier minuto de tiempo, después de los tres minutos, será  $\pm 5^\circ\text{C}$ . Elimine todos los ensayos en los que la velocidad de aumento de temperatura no esté dentro de estos límites.

Anote para cada anillo y bola la temperatura indicada por el termómetro; en el instante que la muestra que rodea la bola, toque la placa inferior. Si la diferencia entre estos dos valores excede  $1^\circ\text{C}$ , repita el ensaye.

Procedimiento para materiales que tengan un punto de ablandamiento mayor que  $80^\circ\text{C}$

Utilice el mismo procedimiento descrito en 10, con las siguientes modificaciones:

- Use glicerina en vez de agua.
- La temperatura inicial del baño de glicerina será 32°C.

Tabla de resultados de la caracterización del cemento asfáltico



**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL(TARIJA-BOLIVIA)

**CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFÁLTICO**

ASFALTO:  
85/100

MUESTRA N°: 1

FECHA: JUNIO 2022

LABORATORISTA:  
PAZ FARIAS ANA KAREN

**CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFÁLTICO**

ENSAYO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
						Mínimo	Máximo
Peso Picnómetro	grs.	32,70	31,80	32,50			
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	grs.	57,30	55,80	57,20			
Peso Picnómetro + Muestra	grs.	55,80	56,50	56,20			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	grs.	62,80	62,30	62,90			
Peso Específico	grs./cm <sup>3</sup>	<b>1,02</b>	<b>1,00</b>	<b>1,01</b>	<b>1,01</b>	1,00	1,05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>280	>290	>295	<b>&gt;288</b>	>232	-
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	115	105	107	<b>109</b>	>100	-
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	92	94	98			
	Lectura N°2	97	93	95			
	Lectura N°3	91	99	92			
	Promedio	mm.	93	95	95	95	85
Viscosidad Cinemática 135 °C	mm <sup>2</sup> /s	325	297	318	313	250	-
Punto de ablandamiento	°C	44,0	47,0	43,0	45	42	53

Ing. Seila Claudia Avila Sandoval  
RESP. LAB. ASFALTOS - UAJMS

**ANEXO III**

**DOSIFICACION DE MEZCLAS  
ASFALTICAS EN CALIENTE**



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEI SARACHO  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION  
LABORATORIO DE ASFALTOS

PROYECTO: "ANALISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TERMICA DE MEZCLAS FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL METODO UCL"

PROCEDENCIA DEL AGREGADO: ERIKA SRL

LABORATORISTA: Univ. PAZ FARIAS ANA KAREN

TIPO DE CEMENTO ASFALTICO: 85/100

FECHA:

DOSIFICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE

TEMPERATURA DE MEZCLADO 160 °c

Peso Total de Briqueta (gr)	1200	Porcentaje de Briqueta		100%		
Ponderación de Grava (%)	25	Porcentaje de Cemento Asfáltico		X%		
Ponderación de Gravilla (%)	25	Porcentaje de Agregado		Y=100 - X		
Ponderación de Arena (%)	45					
Ponderación de Filler (%)	5					
Porcentaje de Cemento asfáltico (%)	<b>4,5%</b>	<b>5,0%</b>	<b>5,5%</b>	<b>6,0%</b>	<b>6,5%</b>	<b>7,0%</b>
Porcentaje de Agregado (%)	95,50%	95,00%	94,50%	94,00%	93,50%	93,00%
Peso del Cemento Asfáltico (gr) *	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00	84,00
Peso de Grava (gr) *	286,50	285,00	283,50	282,00	280,50	279,00
Peso de Gravilla (gr) *	286,50	285,00	283,50	282,00	280,50	279,00
Peso de Arena (gr) *	515,70	513,00	510,30	507,60	504,90	502,20
Peso de Filler (gr) *	57,30	57,00	56,70	56,40	56,10	55,80
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

en según los porcentajes de ligante asfáltico y agregado.

Univ. Ana Karen Paz Farias  
LABORATORISTA

Ing. Seila Claudia Ávila Sandoval  
RESP. DE LABORATORIO DE ASFALTOS



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAE SARACHO  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION  
LABORATORIO DE ASFALTOS

PROY: .ISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD TERMICA DE MEZCLAS FABRICADAS CON CENIZA DE CELULOSA UTILIZANDO EL METODO UCL"

PROCEDENCIA DEL AGREGADO: ERIKA SRL

LABORATORISTA: Univ. PAZ FARIAS ANA KAREN

TIPO DE CEMENTO ASFALTICO: 85/100

FECHA:

DOSIFICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE  
TEMPERATURA DE MEZCLADO 160 °c

Peso Total de Briqueta (gr)	1200
Ponderación de Grava (%)	25
Ponderación de Gravilla (%)	25
Ponderación de Arena (%)	45
Ponderación de Filler (%)	5

Porcentaje de Briqueta	100%
Porcentaje de Cemento Asfáltico	X%
Porcentaje de Agregado	Y=100 - X

Porcentaje de Cemento asfáltico (%)	5,64%	5,79%
Porcentaje de Agregado (%)	-5,64%	-5,79%
Peso del Cemento Asfáltico (gr) *	0,28	0,29
Peso de Grava (gr) *	-0,07	1500,00
Peso de Gravilla (gr) *	1500,00	1500,00
Peso de Arena (gr) *	2700,00	2700,00
Peso de Filler (gr) *	0,00	0,00
Peso total de la briqueta (gr) *	4200,21	5700,29

**ANEXO 4:**  
**PLANILLA MÉTODO MARSHALL**



#### A.4 PLANILLA MÉTODO MARSHALL

Desarrollo de la planilla: Para las dos clases de mezclas, el desarrollo es el mismo. Lo único que cambia es el filler.

a) Identificación:

b) Altura de la briqueta: Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo.

c) Porcentaje de asfalto :

Base del agregado:

$$\text{Base del agregado} = \frac{\text{Base de la mezcla} * 100}{100 - \text{Base de la mezcla}}$$

d) Peso de la briqueta seco: El peso de la briqueta seco se lo calcula cuando se desmolda la briqueta cuyos datos.

e) Peso de la briqueta saturado superficialmente seco (SSS). El peso de la briqueta SSS se lo calcula saturando la briqueta en el agua durante 30 min a 25°C y secándola superficialmente.

f) Peso de la briqueta sumergida en el agua: El peso sumergido, se lo calcula cuando se sumerge la briqueta en el agua a 25 °C durante 5 minutos.

g) Volumen de la briqueta:

$$\text{Vol. Briq.} = \text{Peso Briq. SSS} - \text{Peso Briq. sumergida}$$

h) Densidad de la briqueta:

Densidad real de la briqueta:

$$\text{Densidad real} = \frac{\text{Peso briqueta seco}}{\text{Volumen de briqueta}}$$

Densidad máxima teórica de la briqueta:

$$D_{\max t} = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{ asfalto}}{\text{Peso esp. asfalto}}\right) + \left(\frac{100 - \% \text{ asfalto}}{\text{Peso esp total}}\right)}$$

i) Porcentaje de vacíos:

- Porcentaje de vacíos de la mezcla ( $V_v$ )

$$V_v = \left( \frac{\text{Dens. briq max. teórica} - \text{Dens. briq. promedio}}{\text{Densidad briqueta máxima teórica}} \right) * 100$$

- Porcentaje de vacíos de los agregados (VAM)

$$VAM = \left( \frac{\% \text{asfalto} * \text{Dens. briq. promedio}}{\text{Peso específico de asfalto}} \right) + \% \text{de vacíos}(V_v)$$

- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV)

$$RBV = \left( \frac{VAM - V_v}{VAM} \right) * 100$$

j) Estabilidad y fluencia:

La estabilidad y fluencia se determina después de realizar el ensayo en la prensa Marshall.

## MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE UN VÉRTICE

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

Condición para determinar un vértice:

$a < 0$	ocurre un máximo
$a > 0$	ocurre un mínimo

Determinación de las coordenadas de un vértice:

$$x_{\text{vértice}} = -\frac{b}{2a}$$

$$y_{\text{vértice}} = f(x_{\text{vértice}})$$

Ecuaciones en estudio:

### ESTABILIDAD MÁXIMA

$$y = -812,27x^2 + 9271,2x - 21794$$

$a =$	$-812,27$	$< 0$	<b>máximo</b>
$b =$	$9271,2$		
$c =$	$-21794$		

$$X \text{ máx} = 5,71$$

$$Y \text{ máx} = 4661,23$$

Contenido de ligante para  
la Estabilidad máxima

Estabilidad máxima.

## DENSIDAD MÁXIMA

$$y = -0,0195x^2 + 0,2148x + 1,8529$$

<b>a =</b>	<b>-0,0195</b>	<b>&lt; 0</b>	<b>máximo</b>
<b>b =</b>	<b>0,2148</b>		
<b>c =</b>	<b>1,8529</b>		

<b>X máx =</b>	<b>5,51</b>	Contenido de ligante para la Densidad máxima Densidad máxima.
<b>Y máx =</b>	<b>2,44</b>	

## VACIOS EN LA MEZCLA

### Método A:

Vacíos de la mezcla debe ser igual a 3, 4 ó 5 % según diseño, se reemplaza dicho valor en "y" para obtener el valor de la incógnita "x" (contenido de ligante a ese % de vacíos).

Ecuación original:

$$y = 0,7549x^2 - 10,02x + 36,697$$

<b>a =</b>	<b>0,7549</b>	<b>&gt; 0</b>	<b>mínimo</b>
<b>b =</b>	<b>-10,02</b>		
<b>c =</b>	<b>36,697</b>		

<b>X máx =</b>	<b>5,72</b>	Contenido de ligante para los vacíos de la mezcla Vacíos de la mezcla mínimo
<b>Y máx =</b>	<b>4,00</b>	

## MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE UN VÉRTICE

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

Condición para determinar un vértice:

$a < 0$	ocurre un máximo
$a > 0$	ocurre un mínimo

Determinación de las coordenadas de un vértice:

$$x_{\text{vértice}} = -\frac{b}{2a}$$

$$y_{\text{vértice}} = f(x_{\text{vértice}})$$

Ecuaciones en estudio:

### ESTABILIDAD MÁXIMA

$$y = -429,02x^2 + 5432,4x - 12300$$

$a =$	$-429,02$	$< 0$	<b>máximo</b>
$b =$	$5432$		
$c =$	$-12300$		

$$X \text{ máx} = 6,33$$

$$Y \text{ máx} = 4894,20$$

Contenido de ligante para  
la Estabilidad máxima

Estabilidad máxima.

## DENSIDAD MÁXIMA

$$y = -0,0237x^2 + 0,2652x + 1,6969$$

<b>a =</b>	<b>-0,0237</b>	<b>&lt; 0</b>	<b>máximo</b>
<b>b =</b>	<b>0,2652</b>		
<b>c =</b>	<b>1,6969</b>		

<b>X máx =</b>	<b>5,59</b>	Contenido de ligante para la Densidad máxima Densidad máxima.
<b>Y máx =</b>	<b>2,44</b>	

## VACIOS EN LA MEZCLA

### Método A:

Vacíos de la mezcla debe ser igual a 3, 4 ó 5 % según diseño, se reemplaza dicho valor en "y" para obtener el valor de la incógnita "x" (contenido de ligante a ese % de vacíos).

Ecuación original:

$$y = 0,9211x^2 - 12,017x + 42,215$$

<b>a =</b>	<b>0,9211</b>	<b>&gt; 0</b>	<b>mínimo</b>
<b>b =</b>	<b>-12,017</b>		
<b>c =</b>	<b>42,215</b>		

<b>X máx =</b>	<b>5,45</b>	Contenido de ligante para los vacíos de la mezcla Vacíos de la mezcla mínimo
<b>Y máx =</b>	<b>4,00</b>	



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN**  
**LABORATORIO DE ASFALTOS**

TIPO DE LIGANTE: CEMENTO ASFÁLTICO 85/100  
 PROCEDENCIA DEL AGREGADO: ERIKA SRL

PROCEDENCIA :BRASIL  
 FECHA: Junio 2022

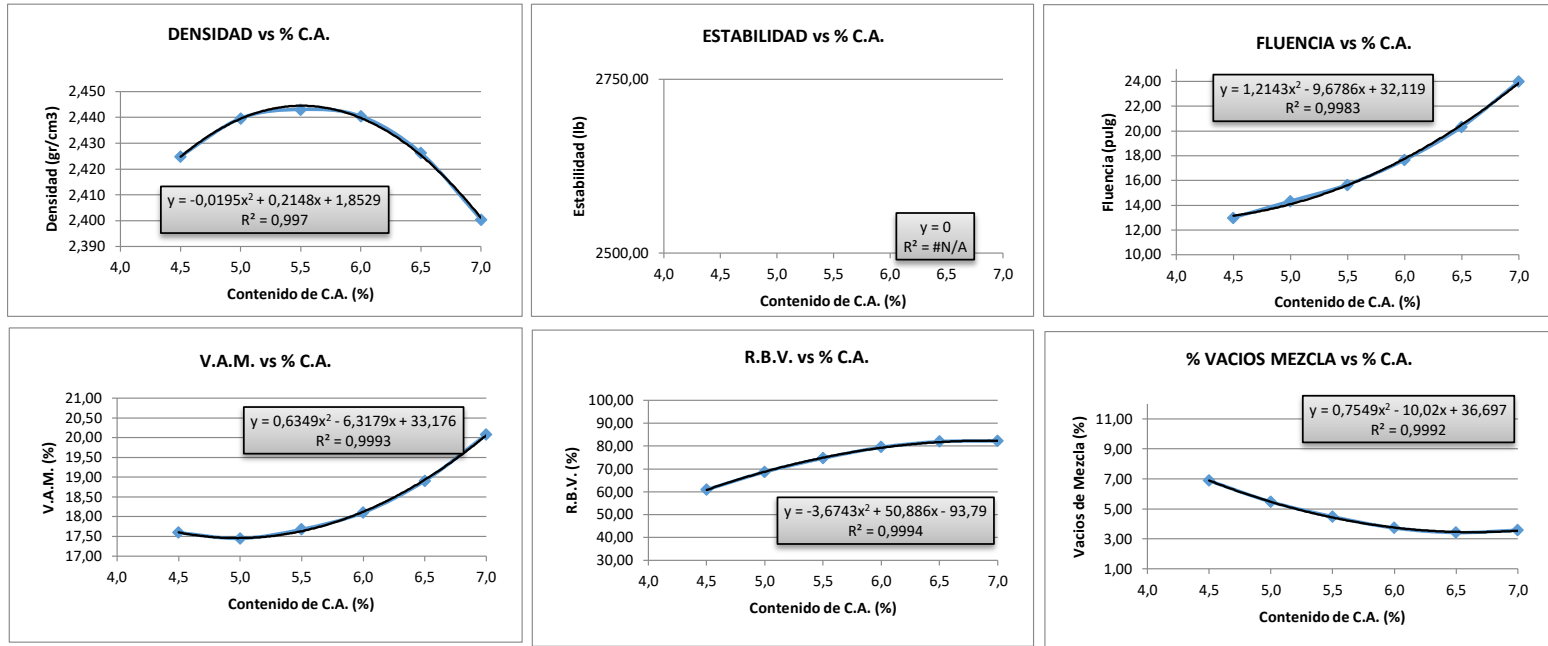
**PLANILLA MÉTODO MARSHALL**  
**PARA EL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO**

Granulometría Formada			P. Especifico	% agregado	TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: CONVENCIONAL			85/100			Agregado			P.E.	%
Mat. Retenido Tamiz N° 4			2,80	56,79	NÚMERO DE GOLPES POR CARA			75			Grava			2,79	25
Mat. Pasa Tamiz N° 4			2,85	43,21	TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)			160			Gravilla			2,81	25
Peso Especifico Total			2,82	100	PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-229 (gr/cm3)			1,0180			Arena			2,85	45
											Filler			2,85	5

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	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 maxima teorica	% de vacios mezcla total	V.A.M.(vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen vacios)	lectura del dial	carga	factor de correccion de altura de	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio	
	%	%																				grs.
1	4,50	4,71	6,71	1189,0	1190,0	704	486,0	2,45	2,425	2,60	6,88	17,60	60,92	1374	3681,6859	0,00	0,00	0	13	13,00		
2			6,66	1192,2	1193,1	704	489,1	2,44						1400	3751,6987	0,00	0,00		12			
3			6,67	1193,5	1194,2	695	499,2	2,39						1458	3907,8811	0,00	0,00		14			
4	5,00	5,26	6,74	1186,1	1187,0	701	486,0	2,44	2,440	2,58	5,47	17,45	68,67	1768	4742,6491	0,00	0,00	0	15	14,33		
5			6,73	1191,9	1192,0	703	489,0	2,44						1675	4492,2187	0,00	0,00		13			
6			6,72	1190,5	1190,7	703	487,7	2,44						1671	4481,4475	0,00	0,00		15			
7	5,50	5,82	6,77	1193,2	1194,0	704	490,0	2,44	2,443	2,56	4,48	17,68	74,66	1830	4909,6027	0,00	0,00	0	14	15,67		
8			6,75	1192,5	1193,2	706	487,2	2,45						1745	4680,7147	0,00	0,00		17			
9			6,72	1194,9	1195,4	707	488,4	2,45						2145	5757,8347	0,00	0,00		16			
10	6,00	6,38	6,74	1188,8	1191,0	705	486,0	2,45	2,440	2,53	3,72	18,10	79,45	1850	4963,4587	0,00	0,00	0	17	17,67		
11			6,76	1192,5	1192,9	704	488,9	2,44						1741	4669,9435	0,00	0,00		18			
12			6,76	1191,8	1192,2	703	489,2	2,44						2122	5695,9003	0,00	0,00		18			
13	6,50	6,95	6,74	1194,1	1195,0	699	496,0	2,41	2,426	2,51	3,41	18,91	81,94	1716	4602,6235	0,00	0,00	0	22	20,33		
14			6,75	1191,4	1191,6	700	491,6	2,42						1660	4451,8267	0,00	0,00		20			
15			6,84	1191,6	1191,8	705	486,8	2,45						1688	4527,2251	0,00	0,00		19			
16	7,00	7,53	6,61	1198,3	1198,7	699	499,7	2,40	2,401	2,49	3,57	20,08	82,21	1500	4020,9787	0,00	0,00	0	25	24,00		
17			6,77	1198,8	1200,0	700	500,0	2,40						1235	3307,3867	0,00	0,00		24			
18			6,70	1195,0	1196,7	700	496,7	2,41						1288	3450,1051	0,00	0,00		23			
ESPECIFICACIONES			minimo										3	13	75						1800	8
			maximo										5	-	82						-	16

## CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO



	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO	Estabilidad Marshall (Lb)	# <sub>1</sub> REF!	# <sub>1</sub> REF!
	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	# <sub>1</sub> REF!	# <sub>1</sub> REF!
	Vacios de la mezcla (%)	4,00	# <sub>1</sub> REF!
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%) =	# <sub>1</sub> REF!





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VIAS DE COMUNICACIÓN**  
**LABORATORIO DE ASFALTOS**

TIPO DE LIGANTE: CEMENTO ASFÁLTICO 85/100 BETUNEL  
 PROCEDENCIA DEL AGREGADO: ERIKA

PROCEDENCIA :BRASIL  
 FECHA: JUNIO 2022

**PLANILLA MÉTODO MARSHALL**  
**PARA EL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO**

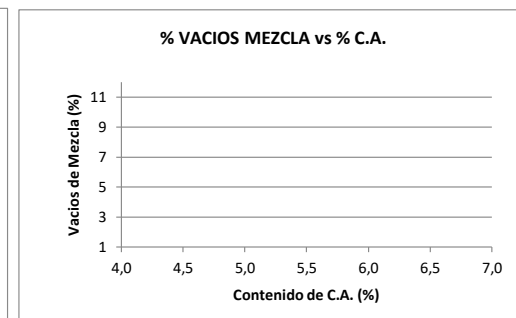
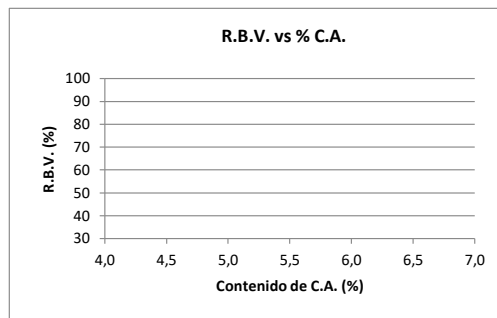
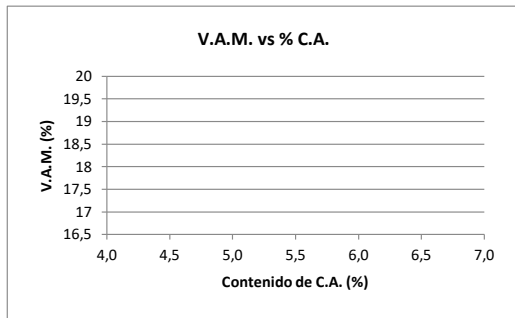
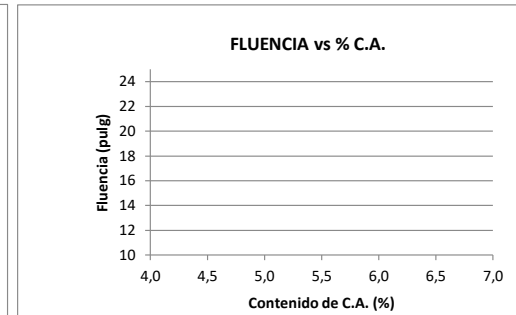
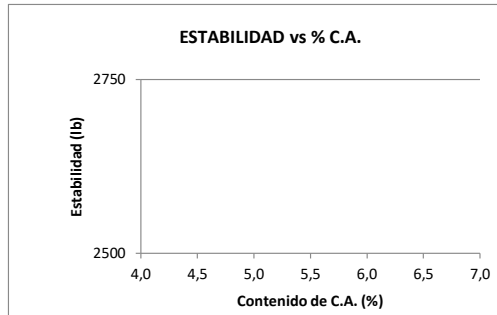
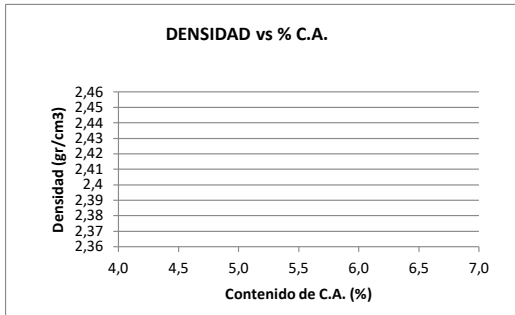
Granulometría Formada	P. Especifico	% agregado
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2,80	56,79
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2,80	43,21
Peso Especifico Total	2,80	100

TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: CONVENCIONAL	85/100
NÚMERO DE GOLPES POR CARA	75
TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)	160
PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-229 (gr/cm3)	1,0180

Agregado	P.E.	%
Grava	2,79	25
Gravilla	2,81	25
Arena	2,85	45
Filler	2,35	5

N° de probeta	% de Asfalto		altura pr	Peso Briqueta				Volumen	Densidad Briqueta				% de Vacios			Estabilidad Marshall					Fluencia						
	bas	bas		sec	sati	su	me		rgi	pri	den	de	msi	da	de	msi	da	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
	%	%																									
1	4,50	4,71	6,76	1193,4	1194,6	698	496,6	2,403	2,410	2,60	7,46	18,11	58,83	1573,0596	4217,7136	0,00	0,00	0	15	15,00							
2			6,71	1186,7	1187,9	698	489,9	2,422						1330,0825	3563,4248	0,00	0,00		14								
3			6,72	1191,5	1192,6	697	495,6	2,404						1305,9521	3498,4464	0,00	0,00		16								
4	5,00	5,26	6,79	1176,3	1177,5	693	484,5	2,428	2,433	2,58	5,71	17,66	67,67	1953,3488	5241,7563	0,00	0,00	0	16	15,67							
5			6,78	1168,7	1169,8	691	478,8	2,441						1654,309	4436,5021	0,00	0,00		15								
6			6,72	1175,4	1176,4	693	483,4	2,432						1546,6038	4146,4735	0,00	0,00		16								
7	5,50	5,82	6,82	1173,2	1174,2	697	477,2	2,459	2,440	2,56	4,60	17,78	74,14	1903,7306	5108,1445	0,00	0,00	0	16	16,67							
8			6,80	1180,6	1181,6	696	485,6	2,431						1813,9397	4866,3554	0,00	0,00		17								
9			6,77	1187,5	1188,6	700	488,6	2,430						1978,5904	5309,7269	0,00	0,00		17								
10	6,00	6,38	6,79	1180,8	1181,9	698	483,9	2,440	2,436	2,53	3,91	18,26	78,60	1980,0342	5313,6148	0,00	0,00	0	17	18,33							
11			6,81	1183,1	1184,1	697	487,1	2,429						2023,28	5430,067	0,00	0,00		18								
12			6,76	1176,4	1177,5	695	482,5	2,438						2057,5596	5522,3752	0,00	0,00		20								
13	6,50	6,95	6,79	1189,2	1190,4	697	493,4	2,410	2,419	2,51	3,68	19,13	80,74	1956,0992	5249,1626	0,00	0,00	0	22	20,33							
14			6,80	1182,7	1183,8	697	486,8	2,430						2046,1318	5491,6024	0,00	0,00		20								
15			6,84	1184,4	1185,7	696	489,7	2,419						2027,9266	5442,5794	0,00	0,00		19								
16	7,00	7,53	6,71	1183,0	1184,5	692	492,5	2,402	2,395	2,49	3,79	20,26	81,29	1886,0636	5060,5707	0,00	0,00	0	25	23,67							
17			6,82	1190,3	1191,5	691	500,5	2,378						1968,8796	5283,5776	0,00	0,00		23								
18			6,75	1185,9	1187,1	694	493,1	2,405						1973,801	5296,8301	0,00	0,00		23								
ESPECIFICACIONES			minimo										3	13	75						1800	8					
			maximo										5	-	82						-	16					

**CURVAS MÉTODO MARSHALL**  
**PARA EL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO CON CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR**



	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO	Estabilidad Marshall (Lb)	#REF!	#REF!
	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	#REF!	#REF!
	Vacios de la mezcla (%)	4,00	#REF!
	<b>% Porcentaje óptimo de C.A.</b>	<b>Promedio (%) =</b>	<b>#REF!</b>

**ANEXO V**  
**PLANILLA DE PRECIOS**  
**UNITARIOS**

## ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

**Proyecto: Carpeta de concreto asfáltico con filler del agregado pétreo**

**Actividad:** Colocado de Carpeta

**Cantidad:** 1,00

**Unidad:** m3

**Moneda:** Bolivianos

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total
<b>1.- MATERIALES</b>				
Grava trirada 3/4"	m3	0,23	170,00	39,10
Grava trirada 3/8"	m3	0,23	170,00	39,10
Arena triturada	m3	0,45	190,00	85,50
Filler natural	m3	0,05	190,00	9,50
Cemento asfáltico	Kg	116,55	11,00	1282,05
Diesel	Lt	18,00	3,72	66,96
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>1522,21</b>
<b>2.- MANO DE OBRA</b>				
Chofer	hr	0,0012	15,14	0,02
Operador de equipo pesado	hr	0,8201	23,28	19,09
Operador de equipo liviano	hr	0,0820	18,30	1,50
Operador en planta	hr	0,0900	23,28	2,10
Ayudante de maquinaria y equipo	hr	0,0280	15,14	0,42
Capataz	hr	1,8000	22,60	40,68
Peón	hr	0,0720	11,98	0,86
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>64,67</b>
BENEFICIOS SOCIALES=% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA		65,00%		42,04
GASTOS AL VALOR AGREGADO= % DE MANO DE OBRA + CARGAS SOC		14,94%		15,94
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>122,65</b>
<b>3.- EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				
Cargador frontal de ruedas	hr	0,00010	421,2900	0,04
Compactador rodillo liso autotroppo	hr	0,03500	301,36	10,55
Escoba mecanica autopropulsado m2/hr	hr	0,02800	67,93	1,90
Planta de calentamiento de asfalto Tn	hr	0,09000	962,34	86,61
Compactador neumatico	hr	0,08400	332,33	27,92
Terminadora de asfalto	hr	0,07500	669,34	50,20
Volqueta 12 m3	hr	0,00100	223,06	0,22
HERRAMIENTAS (% DEL SUBTOTAL DE		5,00%		3,23
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				<b>180,68</b>
<b>4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				
GASTOS GENERALES (% DE 1+2+3)		24,00%		438,13
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				<b>438,13</b>
<b>5.- UTILIDAD</b>				
UTILIDAD (% DE 1+2+3+4)		10,00%		226,367
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>226,367</b>
<b>6.- IMPUESTOS</b>				
IMPUESTO IT (% DE 1+2+3+4+5)		3,09%		76,9420
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>76,9420</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)</b>				<b>2566,97</b>

## ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

**Proyecto: Carpeta de concreto asfáltico con filler de ceniza de celulosa**

**Actividad:** Colocado de Carpeta

**Cantidad:** 1,00

**Unidad:** m3

**Moneda:** Bolivianos

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total
<b>1.- MATERIALES</b>				
Grava trirada 3/4"	m3	0,23	170,00	39,10
Grava trirada 3/8"	m3	0,23	170,00	39,10
Arena triturada	m3	0,45	190,00	85,50
Filler natural	m3	0,05	220,00	11,00
Cemento asfáltico	Kg	116,55	11,00	1282,05
Diesel	Lt	18,00	3,72	66,96
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>1523,71</b>
<b>2.- MANO DE OBRA</b>				
Chofer	hr	0,0012	15,14	0,02
Operador de equipo pesado	hr	0,8201	23,28	19,09
Operador de equipo liviano	hr	0,0820	18,30	1,50
Operador en planta	hr	0,0900	23,28	2,10
Ayudante de maquinaria y equipo	hr	0,0280	15,14	0,42
Capataz	hr	1,8000	22,60	40,68
Peón	hr	0,0720	11,98	0,86
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>64,67</b>
BENEFICIOS SOCIALES=% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA		65,00%		42,04
IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO= % DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES		14,94%		15,94
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>122,65</b>
<b>3.- EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				
Cargador frontal de ruedas	hr	0,00010	421,2900	0,04
Compactador rodillo liso autotropp	hr	0,03500	301,36	10,55
Escoba mecanica autopropulsado m2/hr	hr	0,02800	67,93	1,90
Planta de calentamiento de asfalto Tn	hr	0,09000	962,34	86,61
Compactador neumatico	hr	0,08400	332,33	27,92
Terminadora de asfalto	hr	0,07500	669,34	50,20
Volqueta 12 m3	hr	0,00100	223,06	0,22
HERRAMIENTAS (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE O		5,00%		3,23
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				<b>180,68</b>
<b>4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				
GASTOS GENERALES (% DE 1+2+3)		24,00%		438,49
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				<b>438,49</b>
<b>5.- UTILIDAD</b>				
UTILIDAD (% DE 1+2+3+4)		10,00%		226,553
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>226,553</b>
<b>6.- IMPUESTOS</b>				
IMPUESTO IT (% DE 1+2+3+4+5)		3,09%		77,0052
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>77,0052</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)</b>				<b>2569,08</b>