

**ANEXO I**

**CARACTERIZACIÓN DE LOS**

**AGREGADOS PÉTREOS**

Esta etapa abarca únicamente la caracterización de los agregados pétreos. Los ensayos realizados en esta etapa se encuentran establecidos en normas que son usadas en nuestro medio tales como la ASTM y la AASTHO descritas en el Manual de carreteras volumen IV de hormigones, donde se describe el procedimiento de cada uno de estos ensayos los parámetros en los cuales se basan, rangos establecidos, requisitos que son necesarios cumplir.

Como primer paso realizado fue obtener el agregado pétreo mediante una solicitud enviada a las oficinas de la alcaldía al Ing. Marcelo Zenteno director de obras públicas del gobierno autónomo municipal de cercado.

**Figura A.1.1.** Acopio de agregados en la alcaldía



**Fuente:** Elaboración propia.

Se realiza el desarrollo de cada uno de los ensayos necesarios para realizar la caracterización de los mismos.

#### **Ensayo de granulometría de los agregados pétreos (AASHTO T27); (ASTM C 136)**

La granulometría se define como la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un agregado pétreo. Para determinar esto se requiere realizar el análisis mediante tamices definidos según la banda de trabajo a evaluar. Se registran los datos de la granulometría en función de los pesos retenidos, porcentajes retenidos, porcentajes acumulados retenidos y porcentajes acumulados que pasan por cada tamiz.

### **Descripción del ensayo**

Tiene por objetivo obtener el porcentaje de material que pasa a cada tamiz de la serie de tamices estándar y graficar su respectiva curva granulométrica para establecer la distribución de tamaños de los agregados, los cuales deben estar dentro de las especificaciones establecidas.

### **Equipo.-**

- 1.- Balanza sensible a los 0,1 gramos.
- 2.- Juego de tamices.
- 3.- Horno de temperatura constante (105°C).
- 4.- Herramientas y accesorios (trapos, cuchara, brochas, recipientes, etc.).

**Figura A.1.2.** Materiales del ensayo de granulometría



**Fuente:** Elaboración propia.

Este método permite, mediante tamizado, determinar la distribución por tamaños de las partículas mayores que 0,075 mm, de una muestra.

### **Preparación de la muestra.-**

La muestra debe ser representativa la cual se obtiene por cuarteo.

El peso de la muestra de agregado grueso necesario para el ensayo deberá estar de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla A.1.1.** Peso de la muestra de agregado grueso

Tamaño máximo nominal de las partículas en pulgadas	Peso mínimo de la muestra en gramos
3/8	1000
1/2	2500
3/4	5000
1	10000
1 1/2	15000
2	20000
2 1/2	25000
3	30000
3 1/2	35000

**Fuente:** Manual de ensayos para hormigones UAJMS.

**Procedimiento.-**

**a) Análisis sin lavado.-**

Se puso a secar la muestra en el horno a 105 °C, durante 12 horas. Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó la cantidad requerida para hacer la prueba.

Se colocó el juego de tamices desde el tamaño correspondiente al tamaño máximo hasta el tamiz N° 200 y al final la base.

Se agito todo el juego de mallas, horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado fue de 15 minutos.

Se quito la tapa y se separa la malla, vaciando la fracción de agregado que haya sido retenida en ella sobre la bandeja, a las partículas que han quedado trancadas entre los hilos de la malla no hay que forzarlos a pasar a través de ella; se invierte el tamiz y con ayuda de un cepillo de alambre desprendemos y agregamos a las depositadas sobre la bandeja.

Se pesó cuidadosamente la fracción de la muestra obtenida anteriormente.

Se hacen las pesadas de las fracciones retenidas en cada malla y en la base del fondo, procediendo en la forma indicada. Todos los pesos retenidos se anotan en el registro.

**Figura A.1.3.** Ensayo de la granulometría de los agregados



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Cálculos.-**

Realizar los respectivos cálculos:

- 1.- Calcular el peso acumulado de los pesos retenidos.
- 2.- Calcular el porcentaje retenido tomando como referencia el peso retenido acumulado dividido por su peso de la muestra multiplicado por 100.

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso retenido acumulado}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

- 3.- Luego invertir los porcentajes retenidos y transformarlos en porcentajes pasantes, para esto se debe restar al 100% cada porcentaje retenido acumulado.

$$\% \text{Que pasa} = 100 - \% \text{Retenido acumulado}$$

- 4.- Dibujar la curva granulométrica a escala logarítmica donde las abscisas corresponden al tamaño de las partículas y las ordenadas a los porcentajes que pasan.

#### **Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos (AASHTO T-85); (ASTM C-127)**

Este ensayo tiene por objetivo determinar el peso específico a “granel”, el peso específico aparente y el porcentaje de absorción del agregado pétreo cuando se sumerge en agua durante un periodo de 24 horas.

### Equipo.-

- 1.- Balanza con capacidad de 5 kg o más y sensibilidad de 0,5 gr.
- 2.- Cesto cilíndrico de tela metálica.
- 3.- Pesas de 3 kg y 1 kg.
- 3.- Dispositivos de suspensión.
- 4.- Herramientas y accesorios (horno, bandejas, cuchara, etc.).

**Figura A.1.4.** Materiales del ensayo de peso específico y absorción de agua



**Fuente:** Elaboración propia.

### Preparación de la muestra.-

La cantidad mínima de muestra para el ensayo está en función del tamaño máximo nominal del árido como se muestra:

**Tabla A.1.2.** Cantidad mínima de muestra

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (gr)
12,5 (1/2")	2000
19,0 (3/4")	3000
25,0 (1")	4000
37,5 (1 1/2")	5000
50,0 (2")	8000

**Fuente:** Manual de carreteras volumen IV de hormigones.

Se lavó la muestra de material a fin de remover el polvo o cualquier impureza que cubra la superficie de las partículas y se colocó dentro de un recipiente lleno de agua por un periodo de 24 horas.

### Procedimiento.-

#### **Pesada de agregado saturado superficialmente seco**

Se sacó la muestra del agua y se secan superficialmente las partículas con trapos haciéndolas rodar hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie. Se debe evitar la evaporación durante la operación.

Se obtuvo después el peso de la muestra con sus partículas saturadas. Se registra ese dato como B.

### **Pesada sumergida**

Después de pesar, se colocará la muestra saturada con superficie seca en el cesto cilíndrico, y se sumerge en agua a  $20 \pm 3$  °C y se sacude para eliminar el aire atrapado, en donde se determinará su peso sumergido. Se registra ese dato como C.

### **Pesada del agregado seco**

Se retiró la muestra del cesto cilíndrico teniendo cuidado de no dejar partículas atrapadas.

Se secó la muestra en un horno a temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C y luego se deja enfriar a temperatura ambiente y se pesa. Se registra este dato como A.

**Figura A.1.5.** Ensayo de peso específico del agregado grueso



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Cálculos.-**

Los cálculos a realizar serán los siguientes:

Peso específico seco de la muestra

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

Peso específico saturado con superficie seca

$$\text{Peso específico en condición saturada superficialmente seca} = \frac{B}{B - C}$$

Peso específico aparente

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

Absorción (%)

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

Donde:

A = Peso seco del agregado, en gr.

B = Peso del agregado saturado superficialmente seca, en gr.

C = Peso del agregado saturado, en gr.

### **Ensayo de peso unitario de los agregados (AASHTO T-19); (ASTM C-29)**

Este método de ensayo cubre la determinación del peso unitario suelto y compactado de los agregados pétreos. Es aplicable a los agregados que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas. También se puede usar para determinar la relación masa/volumen para conversiones en acuerdos de compra y venta de agregados.

El peso unitario de los agregados considera el volumen macizo de las partículas de un agregado más el volumen de los poros y el volumen de vacíos entre las partículas.

### **Equipo. -**

- 1.- Balanza sensible al 0,5 % del peso de la muestra.
- 2.- Una varilla de 5/8'' de diámetro y unos 60 cm de largo.
- 3.- Un juego de recipientes cilíndricos.
- 4.- Herramientas y accesorios (cinta métrica, cuchara, vernier, etc.).



**Figura A.1.6.** Materiales del ensayo de peso unitario



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Calibración de los moldes.-**

Los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando sus dimensiones de altura y diámetro de los moldes. El volumen de cada molde se lo determina mediante la fórmula de volumen de un cilindro que viene definido por:

$$V = \frac{\pi}{4} * d^2 * h$$

#### **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.-**

##### **a) Determinación de la densidad aparente suelta**

Procedimiento por simple vaciado.

Se aplicó a los agregados de tamaño máximo nominal igual o inferior que 100 mm.

Se registró el peso de los moldes vacíos en la balanza y anotamos este valor.

Se llenó el molde con la cuchara, descargándola desde una altura de aproximadamente 5 cm sobre el borde superior del molde.

A medida que se llenó el molde con los agregados esta debe tener una distribución uniforme.

Se eliminó el exceso de agregados empleando una varilla como regla de enrase, sin presionar.

Por último, se registró el peso del molde junto al agregado en la balanza, para posteriormente poder determinar la densidad aparente suelta.

#### **b) Determinación de la densidad aparente compactada**

Procedimiento por apisonado.

Se aplica a agregados de tamaño nominal igual o menor que 50 mm (2").

Se llenó el molde hasta una tercera parte de su capacidad, se niveló 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, sin presionar, teniendo como guía el borde del molde.

Por último, se registró el peso del molde junto al agregado en la balanza y anotamos este valor, para posteriormente poder determinar la densidad aparente compactada.

**Figura A.1.7.** Ensayo de peso unitario de los agregados gruesos



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Cálculos.-**

El peso neto del agregado o de la mezcla dentro del molde se obtiene restando el peso del molde a la muestra compactada y el peso del molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se obtiene dividiendo el peso entre el volumen del recipiente.

$$P. U. = \frac{(A - B)}{V}$$

Donde:

A= Peso del recipiente más el agregado, en kg.

B= Peso del recipiente, en kg.

V= Volumen del recipiente, en m<sup>3</sup>.

### **Ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados (NTL 354)**

Esta norma se aplica a agregados de origen natural o artificial. El ensayo para determinar el índice de aplanamiento no es aplicable a los tamaños de partículas menores de 6.3 mm (¼") o mayores de 63 mm (2 ½"); mientras que la prueba para hallar el índice de alargamiento no aplica a los tamaños de partículas menores de 6.3mm (¼") o mayores de 50 mm (2").

La forma de las partículas de los agregados es importante en la construcción de carreteras, porque las partículas de forma defectuosa suelen generar inconvenientes.

#### **Equipo.-**

- 1.- Calibradores metálicos.
- 2.- Tamices.
- 3.- Balanza, con una precisión de 0,1% el peso de la muestra.
- 4.- Herramientas y accesorios (trapos, cuchara, bandejas, etc.).

**Figura A.1.8.** Materiales del ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento



**Fuente:** Elaboración propia.

### Preparación de la muestra.-

Se separa por cuarteo una muestra representativa, con cantidad suficiente para la realización del ensayo.

Se procede a determinar su análisis granulométrico, usando los tamices indicados en la Tabla A.1.3. El porcentaje del peso retenido entre cada dos tamices sucesivos de la serie se denomina  $R_i$ , siendo  $i$  el tamiz de abertura menor.

Se pesa cada una de las fracciones retenidas entre tamices ( $R_i$ ) y se coloca en una bandeja separada, debidamente marcada.

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

**Tabla A.1.3.** Dimensiones de los calibradores para espesor y longitud

Tamices				Dimensiones del calibrador, (mm)	
Pasa		Retiene		Aplanamiento (Abertura de ranura)	Alargamiento (Separación de las barras)
mm	(pulg)	mm	(pulg)		
63	(2 1/2")	50	(2")	33,9	-
50	(2")	37,5	(1 1/2")	26,3	78,8
37,5	(1 1/2")	25	(1")	18,8	56,3
25	(1")	19	(3/4")	13,2	39,6
19	(3/4")	12,5	(1/2")	9,5	28,4
12,5	(1/2")	9,5	(3/8")	6,6	19,8
9,5	(3/8")	6,3	(1/4")	4,7	14,2

**Fuente:** Manual de carreteras volumen IV de hormigones.

### Procedimiento.-

Para separar el material de forma aplanada de cada una de las fracciones de ensayo se hace pasar cada partícula en el calibrador de aplanamiento por la ranura cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya, de acuerdo con la Tabla A.1.3.

La cantidad total de partículas de cada fracción que pasa por la ranura correspondiente, se pesa ( $P_{li}$ ) con precisión del 0,1% del peso total de la muestra en ensayo.

Para separar el material con forma alargada de cada una de las fracciones de ensayo se hace pasar cada partícula en el calibrador de alargamiento por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya, de acuerdo con la Tabla A.1.3.

La cantidad total de partículas de cada fracción retenida entre las dos barras correspondientes, se pesa ( $P_{ai}$ ) con precisión del 0,1% de la masa total de la muestra de ensayo.

**Figura A.1.9.** Ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Cálculos.-**

El índice de aplanamiento de cada fracción de ensayo se calcula en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso de las partículas,  $P_{li}$ , que pasa a través de la correspondiente ranura y el peso inicial,  $P_i$ , de dicha fracción.

$$\text{Índice de aplanamiento de la fracción } (I_{li}) = \frac{P_{li}}{P_i} * 100$$

El índice de alargamiento de cada fracción de ensayo se calcula en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso de las partículas,  $P_{ai}$ , retenidas entre las correspondientes barras y el peso inicial,  $P_i$ , de dicha fracción:

$$\text{Índice de alargamiento de la fracción } (I_{ai}) = \frac{P_{ai}}{P_i} * 100$$

$$\text{Índice de aplanamiento} = \frac{\sum (I_{li} * R_i)}{\sum R_i} \quad ; \quad \text{Índice de alargamiento} = \frac{\sum (I_{ai} * R_i)}{\sum R_i}$$

### **Ensayo de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles (AASTHO T-96); (ASTM C-131)**

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los agregados mayores a 2,5 mm, mediante la máquina de los Ángeles.

Este ensayo se ha usado ampliamente como un indicador de la calidad relativa o la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos de similares composiciones mineralógicas. Los resultados nos brindan automáticamente comparaciones validas entre fuentes marcadamente diferentes en origen, composición o estructura.

#### **Equipo.-**

- 1.- Máquina de desgaste de los ángeles.
- 2.- Balanza de 5 kg, de capacidad y sensible de 0,1 gr.
- 3.- Esferas (carga abrasiva).
- 4.- Un juego de tamices.
- 5.- Herramientas y accesorios (bandejas, cuchara, horno, trapos, etc.).

**Figura A.1.10.** Materiales del ensayo de desgaste de los Ángeles



**Fuente:** Elaboración propia.

La carga de desgaste que debe llevar la máquina de los ángeles consistirá de bolas o esferas de acero de 17/8” de diámetro y cuyo peso puede variar entre 390 y 445 gr.

El número de bolas de acero que se usará depende de la gradación de la muestra de ensayo y será como sigue:

**Tabla A.1.4.** Gradación de la muestra de ensayo

Gradación	Nº de esferas	Peso de la carga
A	12	5000+25
B	11	4584+25
C	8	3330+20
D	6	2500+15
E	12	5000+25
F	12	5000+25
G	12	5000+25

**Fuente:** Manual de ensayos para hormigones UAJMS.

#### **Preparación de la muestra.-**

La muestra de ensayo consiste de agregado limpio que ha sido secado en un horno a 105°C hasta peso constante y tendrá una de las gradaciones que indica en la Tabla A.1.5. siguiente. La gradación que se usa será la que más se aproxima a la del agregado bajo ensayo.

**Tabla A.1.5.** Gradación y peso de la muestra de ensayo

Tamaño del tamiz		Gradación y peso de la muestra de ensayo (grs)						
Pasa	Retenido sobre	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"	—	—	—	—	2500	—	—
2 1/2"	2"	—	—	—	—	2500	—	—
2"	1 1/2"	—	—	—	—	5000	5000	—
1 1/2"	1"	1250	—	—	—	—	5000	—
1"	3/4"	1250	—	—	—	—	—	—
3/4"	1/2"	1250	2500	—	—	—	—	5000
1/2"	3/8"	1250	2500	—	—	—	—	5000
3/8"	1/4"	—	—	2500	—	—	—	—
1/4"	Nº4	—	—	2500	—	—	—	—
Nº4	Nº8	—	—	—	5000	—	—	—

**Fuente:** Manual de ensayos para hormigones UAJMS.

Se obtuvo para la grava una gradación “B” donde la muestra sería de 5000 gramos y para la gravilla una gradación “C” donde la muestra sería de 5000 gramos.

**Figura A.1.11.** Ensayo de desgaste por medio de la máquina de los ángeles



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Procedimiento.-**

Se colocó la muestra de ensayo y la carga en la máquina de desgaste de los ángeles y se puso en funcionamiento la máquina a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto. Para las gradaciones A, B, C la máquina se hará girar durante 500 revoluciones, para las gradaciones E, F y G se hará girar durante 1000 revoluciones. Al final del ensayo el material será descargado de la máquina y se hará una separación preliminar por el tamiz N° 12.

El material que queda retenido en el tamiz N° 12 debe lavarse, secarse en un horno a una temperatura constante de 105°C a 110°C. Por último, pesamos y registramos este valor.

#### **Cálculos.-**

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

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{\text{Peso}_{\text{inicial}} - \text{Peso}_{\text{final}}}{\text{Peso}_{\text{inicial}}} * 100$$

#### **Ensayo de caras fracturadas de los agregados (ASTM D-5821); (NTL-358)**

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de agregados. Uno de los propósitos de este requisito es maximizar la resistencia al corte, incrementando la fricción entre partículas en mezclas de agregados, ligadas o no. Otro propósito, es dar estabilidad

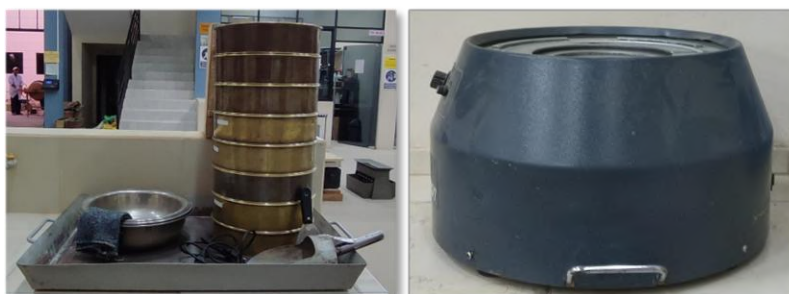


a los agregados usados en tratamientos superficiales y proporcionar mayor fricción y textura a los agregados usados en la construcción de capas de rodadura.

#### Equipo.-

- 1.- Balanza, de 5000 gr de capacidad y precisión de 1 gr.
- 2.- Tamices, de 37,5, 25,0, 19,0, 12,5 y 9,5 mm (1 1/2", 1", 3/4", 1/2" y 3/8").
- 3.- Espátula, para separar los áridos.
- 4.- Agitador mecánico (Rop Tap).
- 5.- Herramientas y accesorios (cuarteador, cuchara, recipientes, trapos, etc.).

**Figura A.1.12.** Materiales del ensayo de caras fracturadas de los agregados



**Fuente:** Elaboración propia.

#### Preparación de la muestra.-

La muestra para el ensayo deberá ser representativa de la granulometría promedio del agregado, y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida. Separamos por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 37,5 mm y 9,5 mm (1 1/2" y 3/8"), descartando el resto.

El peso total de la muestra dependerá del tamaño del agregado así:

**Tabla A.1.6.** Peso total de la muestra según el tamaño el agregado

Tamaño del árido		Peso en gr
37,5 a 25,0 mm	(1 1/2" a 1")	2000
25,4 a 19,0 mm	(1" a 3/4")	1500
19,0 a 12,5 mm	(3/4" a 1/2")	1200
12,5 a 9,5 mm	(1/2" a 3/8")	300

**Fuente:** Manual de carreteras volumen IV de hormigones.

Al momento de realizar el tamizado del agregado se visualizó un tamaño máximo nominal de la partícula de  $\frac{3}{4}$ ", entonces se tomó como muestra un peso de 1500 gr para cada ensayo.

#### **Procedimiento.-**

Una vez ya obtenida la muestra se lo introduce en el juego de tamices y se procede a tamizar en el agitador mecánico (Rop Tap), durante un tiempo de 15 min.

Posterior a ello pesamos en la balanza las muestras retenidas en las mallas de los tamices y anotamos este valor.

Se esparció la muestra de cada tamiz por separado en un área suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula. Si es necesario se lava el agregado sucio. Esto facilitara la inspección y detección de las partículas fracturadas.

Se separó con el borde de la espátula, las partículas que tengan una o más caras fracturadas. Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como "partícula fracturada". Una partícula se considerará como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquellas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos.

Por último, pesamos las partículas fracturadas de cada tamiz y anotamos este valor.

**Figura A.1.13.** Ensayo del porcentaje de caras fracturadas de los agregados



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Cálculos.-**

El porcentaje de caras fracturadas se calcula así:

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

Donde:

A= Muestra retenida en gr.

B= Material triturado en gr.

### **Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración (AASHTO T-104); (ASTM C-88)**

Este método abarca el procedimiento a seguir en el ensayo de agregados para determinar su resistencia a la desintegración en soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio.

Proporciona una información útil para juzgar la solidez de los agregados sujetos a la acción de la meteorización particularmente cuando no se dispone de una información adecuada de los datos de servicio del material expuesto a las condiciones de meteorización existentes.

### **Equipo.-**

- 1.- Balanza, de 5000 gr. de capacidad y precisión de 1 gr.
- 2.- Tamices.
- 3.- Horno.
- 4.- Reactivos.
- 5.- Herramientas y accesorios (cuchara, recipientes, trapos, etc.).

**Figura A.1.14. Materiales del ensayo de durabilidad**



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Solución requerida.-**

**a) Solución de sulfato de sodio.-** La solución de sulfato de sodio se prepara disolviendo sal anhidra o cristalina en agua limpia a una temperatura de 25 a 30 °C. Se agrega suficiente sal para asegurar no solamente la saturación sino también la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para su empleo en sus ensayos. La mezcla se agita vigorosamente durante la adición de sal y la solución se agita con frecuencia hasta el momento de su empleo

Para preparar la solución saturada suficiente 215 gr de sal anhidra por litro de agua. Sin embargo, desde que estas sales no son completamente estables y es deseable que haya un exceso de cristales, se recomienda emplear no menos de 350 gr.

### **Tamaño de la muestra de ensayo.-**

#### **Agregado grueso**

Se preparó la muestra con el material retenido en el tamiz de 4,75mm (No 4) para hormigón y 2,36 mm (No 8) para asfalto; debe tener un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la Tabla A.1.7.

No ensayar las fracciones que tengan un porcentaje retenido menor que 5%.

**Tabla A.1.7.** Tamaño de la muestra para el agregado grueso

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa de la subfracción (gr)	Masa de fracción (gr)
1	50 - 63	3000 ± 300	5000 ± 5
	37,5 - 50	2000 ± 200	
2	25 - 37,5	1000 ± 50	1500 ± 5
	19 - 25	500 ± 30	
3	12,5 - 19	670 ± 10	1000 ± 5
	9,5 - 12,5	330 ± 5	
4	4,75 - 9,5	300 ± 5	300 ± 5
5	2,36 - 4,75	100 ± 5	100 ± 5

**Fuente:** Manual de carreteras volumen IV de hormigones.

La muestra de agregado grueso se lava completamente, se seca hasta un peso constante a 105° C y se separa por cibrado en los diferentes tamaños indicados anteriormente. El peso adecuado de la muestra para cada fracción se pesa y se coloca en recipientes separados

para el ensayo. En el caso de fracciones de tamaño superior al tamiz  $\frac{3}{4}$ " se cuenta el número de partículas.

#### **Procedimiento.-**

Las muestras deben sumergirse en la solución preparada de sulfato de sodio no menos de 16 y no más de 18 horas de tal modo que la solución las cubra hasta una profundidad de  $\frac{1}{2}$ " aproximadamente. Los recipientes deben taparse para reducir la evaporación e impedir la adición accidental de sustancias extrañas; las muestras sumergidas en la solución se mantienen a una temperatura de  $21 \pm 1$  °C durante el periodo de inmersión.

Después del periodo de inmersión la muestra de agregado se retira de la solución, se permite que drene y luego se coloca en el horno de secada. Deben evitarse las pérdidas de partículas de agregados. La temperatura del horno debe estar entre 105 a 110 °C las muestras se secan hasta un peso constante a la temperatura especificada. Después de secar la muestra esta se dejan enfriar a la temperatura ambiente y luego se sumergen de nuevo en la solución preparada tal como se indica en párrafos anteriores.

El proceso de inmersión y secado alternados se repite 5 veces.

Al finalizar el último ciclo y después de la muestra enfriada, este se lava del sulfato de sodio.

Después de remover la solución de sulfato de sodio, cada fracción de la muestra se seca hasta peso constante, se pesa y se tamiza sobre el mismo tamiz en el que se fue retenido antes del ensayo. Se pesan las partículas retenidas sobre el tamiz y el peso se anota.

**Figura A.1.15.** Ensayo de durabilidad



**Fuente:** Elaboración propia.

**Cálculos.-**

El porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra es de acuerdo con la formula siguiente:

$$P_N(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} * ppr$$

Donde:

$P_N$  = Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra (%).

$m_i$  = Masa inicial de la fracción (gr).

$m_f$  = Masa final de la fracción (gr).

$ppr$  = Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción según el análisis granulométrico (%).

**ANEXO II**

**CARACTERIZACIÓN DE LOS**

**LIGANTES ASFÁLTICOS**

Esta etapa abarca únicamente la caracterización de los ligantes asfálticos que son el asfalto convencional y el asfalto modificado con polvo de neumático, estos materiales se utilizan como ligante en la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial.

Los ensayos realizados en esta segunda etapa se encuentran establecidos en normas que son usadas en nuestro medio tales como la ASTM y la AASTHO, descritas en el Manual de carreteras volumen IV de asfalto de la ABC, donde se describe el procedimiento de cada uno de estos ensayos los parámetros en los cuales se basan, rangos establecidos, requisitos que son necesarios cumplir.

### **Caracterización del asfalto convencional 85-100**

El asfalto convencional fue obtenido mediante una solicitud enviada a las oficinas de la alcaldía al Ing. Marcelo Zenteno director de obras públicas del gobierno autónomo municipal de cercado.

Para la caracterización del asfalto convencional se procedió a realizar los siguientes ensayos descritos a continuación; en el laboratorio de asfaltos de la universidad Juan Misael Saracho.

### **Ensayo de penetración (AASHTO T49-97); (ASTM D-5)**

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

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

### **Equipo.-**

- 1.- Penetrómetro.
- 2.- Aguja de penetración.
- 3.- Cápsulas.
- 4.- Baño de agua.
- 5.- Herramientas y accesorios (cronometro, bandejas, gasolina, trapos, etc.).



**Figura A.2.1.** Materiales del ensayo de penetración



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Condiciones del ensayo.-**

Cuando no se especifiquen las condiciones de ensayo, considere la temperatura, carga y tiempo, en 25°C, 100 gr y 5 seg, respectivamente.

#### **Preparación de la muestra.-**

Se calentó el cemento asfáltico cuidadosamente, homogéneamente para prevenir sobrecalentamientos locales hasta que este lo suficientemente fluida para vaciar. Se cuidó que la temperatura no debe elevarse más allá de 90 °C sobre el punto de ablandamiento para el caso de los asfaltos.

Se llenaron las cápsulas, teniendo en cuenta que la profundidad de la muestra sea por lo menos 10 mm mayor que la profundidad a la cual se espera que la aguja penetre.

Se dejaron enfriar las cápsulas a temperatura ambiente hasta alcanzar una temperatura entre 15° y 30° C durante un periodo de media hora, cubiertos para protegerlos del polvo.

Se puso las cápsulas en un baño de agua a una temperatura de 25 °C manteniendo esta temperatura constante durante un periodo de tiempo similar al anterior.

#### **Procedimiento.-**

Se montó el equipo de penetración y se verificó que el vástago esté completamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre la guía. La aguja de penetración se limpió con gasolina y se secó con un trozo de papel higiénico, se la fijó firmemente en su soporte como también la carga de 50 gr.

Se retiró la cápsula del baño de agua y se la ubico en el penetrómetro.

Se tiene que descender la aguja hasta que haga contacto con la superficie de la muestra, sin que penetre.

Se verificó que el penetrómetro se encuentre en cero, y se soltó la aguja, iniciando en el mismo instante el cronometro para medir un tiempo de 5 segundos.

Finalmente, se leyó y anotó la distancia expresada en decimas de milímetro.

Se realizó tres penetraciones en la superficie de la muestra. Las penetraciones tienen que estar distanciadas un mínimo de 10 mm de la pared y uno respecto del otro.

Se debe retornar la cápsula al baño de agua entre determinaciones.

**Figura A.2.2.** Ensayo de penetración



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Ensayo de punto de inflamación (AASTHO T79-96); (ASTM D1310-01)**

El método define la determinación del punto de inflamación 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 ensayo.

El punto de inflamación da una indicación de la posible presencia de sustancias altamente volátiles e inflamables en un producto relativamente no volátil o no inflamable. También sirve como prueba de seguridad en la operación de las plantas productoras de mezcla asfáltica en caliente.

### **Equipo.-**

- 1.- Copa Abierta de Cleveland.
- 2.- Termómetro.
- 3.- Hornilla eléctrica.
- 4.- Herramientas y accesorios (brocha, bandejas, gasolina, trapos, etc.).

**Figura A.2.3.** Materiales del ensayo de punto de inflamación



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Preparación del aparato.-**

Se montó el equipo sobre un mesón nivelado y se cerraron momentáneamente las ventanas y puertas para eliminar corrientes de aire.

Se lavó la copa de ensayo con gasolina para remover cualquier aceite o residuos remanentes de un ensayo anterior.

Se puso el termómetro en posición vertical con el bulbo a una distancia de 6,5 mm del fondo de la copa y localizado en un punto medio entre el centro y la pared de la misma.

### **Procedimiento.-**

Se comenzó llenando la copa con el cemento asfáltico, previamente calentado y teniendo cuidado que la temperatura no excediera de 100°C por encima de lo esperado para el punto de ablandamiento. Se llenó hasta el punto en el que la parte superior del menisco quede en la línea de llenado.

La copa se llenó lejos del equipo montado, se debe tener en cuenta que no debe existir material adherido a la parte exterior de la copa ni burbujas de aire sobre la superficie de la muestra.

Se colocó la copa en posición en la hornilla eléctrica, cuidando el espacio entre el extremo inferior del termómetro y el fondo de la copa.

Se comenzó a aplicar calor de modo que la temperatura de la muestra suba a una velocidad entre 14 y 17°C por minuto. Cuando la temperatura se aproxime a los 55°C por debajo del punto de inflamación esperado, se disminuyó 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.

Cuando la temperatura se aproximó a los 210°C, se aplicó la llama de ensayo, una vez por cada aumento de 2°C leídos en el termómetro, con un tiempo de barrido a través de la copa de aproximadamente 1 segundo.

Al momento de llegar a temperaturas mayores a los 230°C, se tuvo la precaución de no aproximarse bruscamente y no respirar cerca de la copa puesto que cualquier movimiento de aire dispersa los gases que se acumulan en la parte superior.

Se registró como punto de inflamación, la lectura de temperatura del termómetro en el instante en que la llama del ensayo produce un destello sobre la superficie de la muestra.

**Figura A.2.4.** Ensayo de punto de inflamación



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Ensayo de punto de ablandamiento (AASHTO T53-96); (ASTM D-36)**

Este método describe el 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.

Los productos bituminosos son materiales visco-elásticos y no cambian del estado sólido al estado líquido a una temperatura definida, sino que se tornan gradualmente más blandos y menos viscosos a medida que se eleva la temperatura. Por esta razón, el punto de ablandamiento se debe determinar por medio de un método arbitrario pero muy definido, que produzca resultados reproducibles y comparables.

#### **Equipo.-**

- 1.- Equipo de punto de ablandamiento.
- 2.- Termómetro.
- 3.- Hornilla eléctrica.
- 4.- Agua destilada.
- 5.- Talco y glicerina.
- 6.- Herramientas y accesorios (brocha, espátula, gasolina, hielo, etc.).

**Figura A.2.5.** Materiales del ensayo de punto de ablandamiento



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Preparación de la muestra.-**

Se calentó la muestra, agitándola continuamente para prevenir un sobrecalentamiento local, hasta que esté suficientemente fluida para verterla. Se cuidó que la temperatura de la muestra no debe exceder de 110°C por sobre el punto de ablandamiento.

Se vertió la muestra caliente dentro de los dos anillos hasta que esté presente un exceso. Mientras se llenan los anillos se apoyó sobre una placa de vidrio, previamente recubierta con una mezcla de glicerina y talco, para prevenir que el asfalto se adhiera a la placa de vidrio y se las deja enfriar a temperatura ambiente durante un tiempo de 30 minutos.

Después del enfriado, se corta el exceso de asfalto con una espátula caliente.

**Procedimiento.-**

Se comenzó llenando el vaso precipitado con agua destilada donde fue ensamblando el aparato con los anillos, el termómetro y la guía para centrar las bolas en posición. También se incorporó las bolas para que tengan la misma temperatura del baño.

Se realizó un baño de agua y hielo para que la temperatura en el vaso precipitado sea de 5°C. Una vez llegado a esta temperatura mantener durante un tiempo de 15 minutos.

Al momento de pasar el tiempo se retira el vaso precipitado y se coloca las bolas en cada una de las guías de centraje, el vaso precipitado se la lleva donde una bandeja con agua que esta sobre una hornilla electrica.

Se aplicó calor de tal manera que la temperatura del agua aumente con una velocidad uniforme de 5°C por minuto, se debe evitar las corrientes de aire.

Se registró la temperatura indicada por el termómetro, en el instante que la muestra que rodea la bola, toque la placa inferior. Se tomó en cuenta que la diferencia de temperatura entre las dos muestras no excediera los 1°C.

**Figura A.2.6.** Ensayo de punto de ablandamiento



**Fuente:** Elaboración propia.

**Ensayo de ductilidad (AASHTO T51-00); (ASTM D-113)**

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga (elonga) antes de romperse por los dos extremos de una briqueta, confeccionada con una

muestra y de la forma descrita más adelante se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de  $25 \pm 0,5$  °C y a una velocidad de 5 cm/min  $\pm$  5%.

El ensayo brinda una medida de las propiedades a tensión de los materiales bituminosos y se usa para establecer si el producto que se ensaya cumple la especificación correspondiente. Generalmente, se considera que un asfalto de baja ductilidad presentará pobres propiedades adhesivas y un deficiente comportamiento en servicio.

#### **Equipo.-**

- 1.- Moldes.
- 2.- Baño de agua.
- 3.- Ductilímetro.
- 4.- Termómetro.
- 5.- Talco y glicerina.
- 6.- Herramientas y accesorios (espátula, brocha, gasolina, bandejas, etc.).

**Figura A.2.7.** Materiales del ensayo de ductilidad



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Preparación de la muestra.-**

Se armó el molde sobre una placa base, previamente recubiertas con una mezcla de glicerina y talco, para prevenir que el asfalto se adhiera a la placa y de los lados del molde.

Se calentó la muestra, previniendo calentamientos locales, hasta que este lo suficientemente fluida. Se cuidó que la temperatura de la muestra no excediera de 80°C a 110°C por sobre el punto de ablandamiento.

Se vertió el asfalto dentro del molde, hasta que quede por sobre el nivel de llenado y dejamos enfriar a temperatura ambiente por un periodo de tiempo de 30 minutos. Pasado



el tiempo se colocó las muestras en un baño de agua a una temperatura de 25°C por 30 minutos.

Se recortó el exceso de asfalto con una espátula caliente, de modo que el molde se ajuste al nivel de llenado.

#### **Procedimiento.-**

Se colocó la placa y el molde en el ductilímetro en un baño de agua por un periodo de tiempo de 90 minutos a una temperatura de 25 °C. Luego se quita la placa de base y llevamos al molde en posición de ensayo. Luego se quita las partes de los lados del molde, todo esto en el mismo baño de agua.

El material asfáltico es estirado por el equipo del ductilímetro a una velocidad uniforme de 5 cm/min  $\pm$  5%, hasta formar un hilo produciendo la ruptura.

Por último, se registró las distancias en centímetros entre los clips traccionados en el momento de producirse la ruptura.

**Figura A.2.8.** Ensayo de ductilidad



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Ensayo de peso específico (AASHTO T229-97); (ASTM D71-94)**

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso de picnómetro a la temperatura requerida. Los valores de densidad se usan para realizar conversiones de unidades de volumen a masa y para realizar correcciones en



las medidas de volumen, cuando la temperatura de ejecución del ensayo difiere de la temperatura usada como referencia.

#### **Equipo.-**

- 1.- Picnómetro.
- 2.- Balanza analítica.
- 3.- Baño termostático.
- 4.- Termómetro.
- 5.- Herramientas y accesorios (agua destilada, gasolina, trapos, etc.).

**Figura A.2.9.** Materiales del ensayo de peso específico



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Calibración del picnómetro**

Se determinó la masa del picnómetro limpio y seco.

Se llenó el picnómetro con agua destilada hasta su capacidad y se lo colocó en un baño de agua de forma que el agua del baño quede al mismo nivel del agua destilada del picnómetro. Se lo mantiene en el baño de agua por un periodo de tiempo de 30 minutos a una temperatura de 25°C.

Se retiró el picnómetro del baño de agua y se secó cuidadosamente toda la humedad superficial, para poder registrar este valor.

#### **Procedimiento. –**

Se calentó una pequeña cantidad de asfalto hasta que este fluida. Una vez que la muestra este suficientemente fluida se la vierte dentro del picnómetro, limpio y seco, hasta aproximadamente la mitad. Es conveniente calentar ligeramente el picnómetro con una secadora antes de vaciar el asfalto.

Evitar que el asfalto toque las paredes del picnómetro por encima de su nivel final, y evitar la inclusión de burbujas de aire, aplicando ligeramente una llama de un mechero a la superficie del picnómetro y del asfalto.

Se dejó enfriar el picnómetro y su contenido a temperatura ambiente y se registró la masa.

Se terminó de llenar con agua destilada y se lo colocó en el baño de agua, a una temperatura de 25°C por un periodo de tiempo de 30 minutos. Pasado el tiempo se retiró el picnómetro y lo secamos con papel higiénico.

Por último, se pesó y se registró esta masa.

**Figura A.2.10.** Ensayo de peso específico



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Ensayo de viscosidad (AASHTO T201-01); (ASTM D-2170)**

Este método abarca el procedimiento para determinar la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos, aceites de caminos y residuos destilados de asfaltos líquidos, todos a 60°C, y de asfaltos convencionales a 135°C, en el rango de 30 a 100.000 cSt.

#### **Equipo.-**

- 1.- Equipo de viscosímetro Saybolt - Furol.
- 2.- Vasos precipitados de 50 ml.
- 3.- Vibrador automático.
- 4.- Termómetro.
- 5.- Herramientas y accesorios (cronómetro, espátula, brocha, gasolina, etc.).

**Figura A.2.11.** Materiales del ensayo de viscosidad



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Preparación de la muestra.-**

Se calentó una muestra, previniendo 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. La muestra de 20 ml se calentó hasta que llegue a una temperatura de  $135 \pm 5$  °C, teniendo cuidado que no entre aire al interior de la muestra.

#### **Procedimiento.-**

Se montó el equipo del viscosímetro Saybolt, tomando en cuenta de que esté limpio y seco, que, de un tiempo de flujo mayor a 60 segundos, y precalentada a la temperatura de ensayo.

En el precalentamiento del viscosímetro nos ayudamos de un vibrador automático hasta alcanzar la temperatura de ensayo de 135 °C.

Se insertó un tapón de corcho en el agujero inferior del viscosímetro, con la finalidad de mantener el asfalto dentro hasta que alcance la temperatura adecuada.

Se dejó que el viscosímetro cargado permanezca en el baño el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura de ensayo.

Se verificó que el vaso precipitado se encuentre en la posición adecuada; se retiró el corcho de la parte inferior del viscosímetro y en el mismo instante se puso a funcionar el cronómetro. Se detuvo en el instante en el que ya no se visualizó la línea de flujo del asfalto convencional 85-100.

Se registró el tiempo del flujo en segundos.

**Figura A.2.12.** Ensayo de viscosidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Caracterización del asfalto modificado con polvo de neumático**

El asfalto modificado con polvo de neumático fue elaborado y obtenido en el laboratorio de asfaltos tomando en cuenta el Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas y la guía para fabricación de betunes con polvo de neumático.

Según el Manual de carreteras volumen IV de asfalto de la ABC de Bolivia se especifica que se debe realizar estos dos ensayos para asfaltos modificados.

### **Ensayo de recuperación elástica (AASHTO T301-99); (ASTM D 6084-06)**

Este ensayo se utiliza en los asfaltos modificados, que comprenden los cementos y emulsiones asfálticas modificadas. El ensayo se efectúa a una temperatura de  $25 \pm 0,5$  °C y a una velocidad de 5 cm/min  $\pm$  5%. Para materiales bituminosos elastoméricos se considera una elongación inicial de 20 cm. para la muestra.

### **Equipo.-**

- 1.- Moldes.
- 2.- Baño de agua.
- 3.- Ductilímetro.
- 4.- Termómetro.
- 5.- Desmoldante.
- 6.- Herramientas y accesorios (espátula, regla, gasolina, bandejas, etc.).

**Figura A.2.13.** Materiales del ensayo de recuperación elástica



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Descripción del ensayo**

Para realizar este ensayo se utiliza el ductilímetro, los mismos materiales que son necesarios en el ensayo de ductilidad, el procedimiento de este ensayo tiene similitud con el de ductilidad, la diferencia que existe es que a una distancia de 20 cm se procede a detener el motor del ductilímetro y cortar el material asfáltico para obtener la recuperación elástica del mismo, para lo cual se espera una hora y se mide la distancia de retracción.

La fórmula que se utiliza para determinar la recuperación elástica del asfalto la siguiente:

$$Re (\%) = \frac{L_f}{L_i} * 100$$

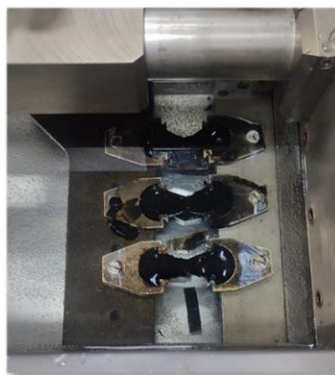
Donde:

Re (%)= Porcentaje de recuperación elástica.

Lf= 20 cm definido por las especificaciones del ensayo.

Li= Longitud de retracción de la muestra (cm), con una aproximación a un decimal.

**Figura A.2.14.** Ensayo de recuperación elástica



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Ensayo del índice de penetración (UNE 104-281)**

Este método describe el procedimiento a seguir para la determinación del índice de penetración, IP, de los ligantes asfálticos modificados.

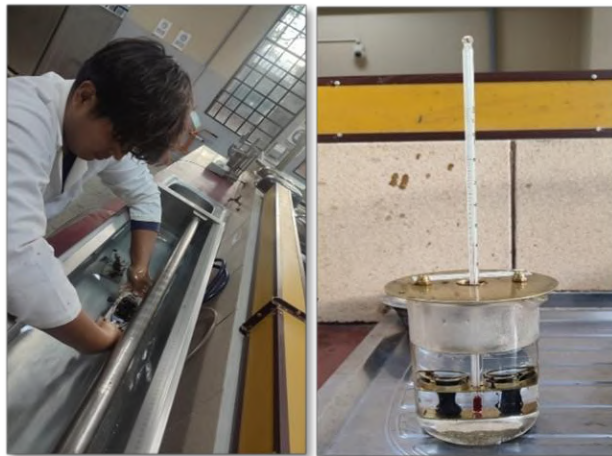
Este índice se calcula a partir de los valores de la penetración y del punto de ablandamiento anillo y bola, y proporciona un criterio de medida de la susceptibilidad de estos materiales a los cambios de temperatura y de su comportamiento reológico.

### **Descripción del ensayo**

El IP. Se basa, por una parte, en admitir que, a la temperatura del punto de ablandamiento anillo y bola, la penetración de un ligante asfáltico es de 800 y: por otra parte, que, si se elige en ordenadas una escala logarítmica para la penetración, los valores de esta en función de la temperatura se representan por una línea recta.

El IP. Se obtiene mediante el nomograma siguiente, se basa en los siguientes parámetros que son temperatura del punto del ablandamiento, temperatura a la que se efectúa la penetración y la penetración de la temperatura en decimas de mm.

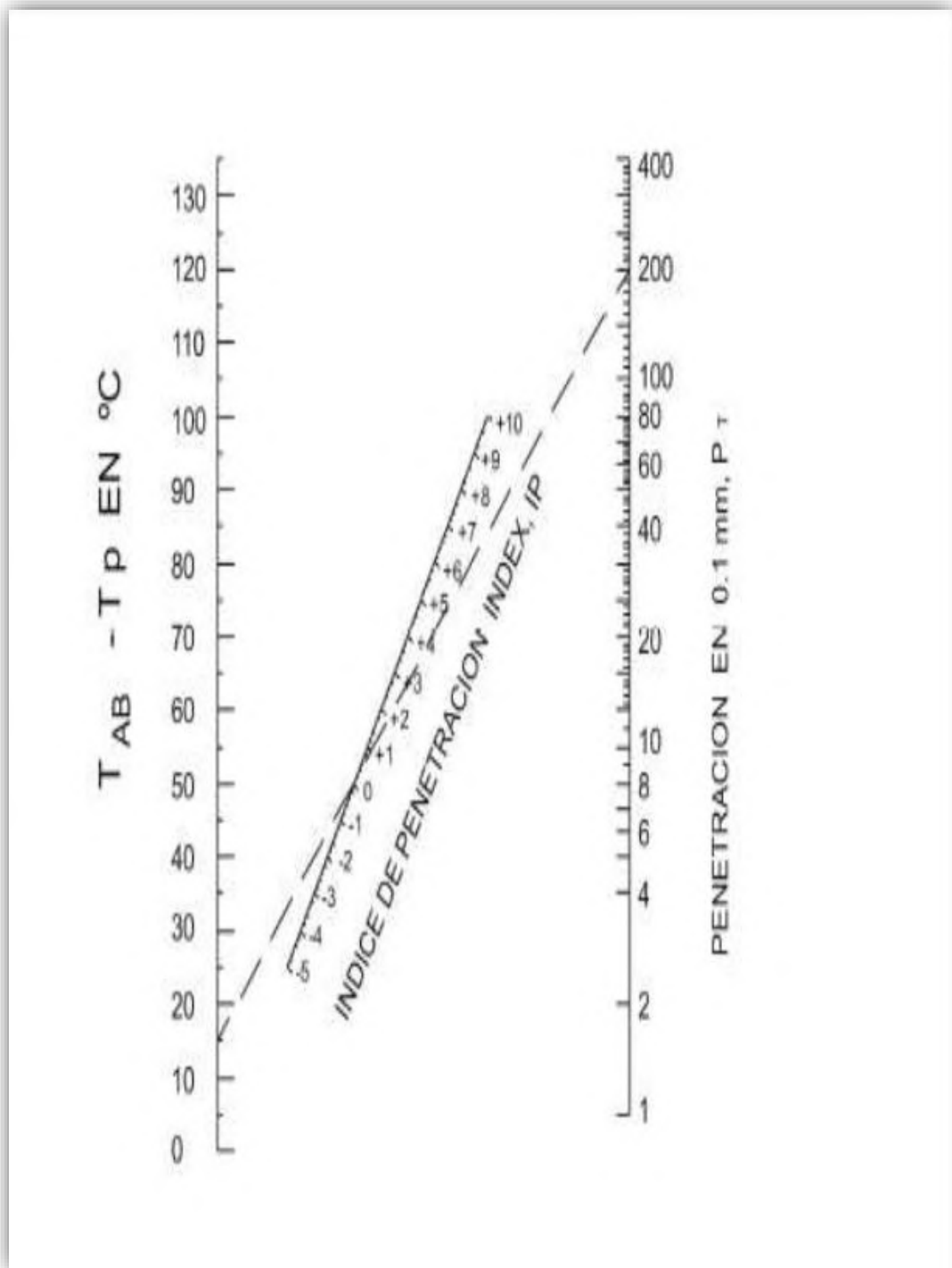
**Figura A.2.15.** Ensayo de penetración y punto de ablandamiento



**Fuente:** Elaboración propia.

Los asfaltos con  $IP > + 2$  presentan poca susceptibilidad a la temperatura y cierta elasticidad.

**Figura A.2.16.** Nomograma de hukelo bitumen test date Charl



**Fuente:** Elaboración propia.

**ANEXO III**

**ELABORACIÓN DE LAS BRIQUETAS**

**DE TRATAMIENTO DOBLE Y DEL**

**ENSAYO DE VIALIT**



### **Aparato de Marshall aplicado a la mezcla asfáltica para un al tratamiento superficial**

En este proyecto de investigación, se emplean los moldes de Marshall de diámetro de 104,6 mm para dosificar la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial, tanto para el asfalto convencional y modificado con polvo de neumático. Se evalúa el comportamiento de las propiedades de estabilidad y fluencia para determinar la resistencia y deformación de las briquetas a través del aparato de Marshall.

La construcción de las briquetas se lleva a cabo de manera distinta al procedimiento del ensayo del Marshall. La principal diferencia radica en la dosificación, la cual se basa en el método de la dimensión mínima promedio. El Manual de carreteras volumen IV de asfalto de la ABC establece los rangos específicos para la dosificación del asfalto en cada capa, siguiendo el procedimiento de un tratamiento superficial.

Debido a que se trata de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial para tráfico ligero (bajo), se define una compactación con una energía de 50 golpes para lograr la compactación adecuada de las briquetas.

### **Dosificación de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial**

Para la dosificación de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial se llevó a cabo siguiendo el método de la dimensión mínima promedio desarrollado en el Manual de carreteras volumen IV de asfalto de la ABC. Esto permitió determinar la cantidad necesaria de agregado pétreo y ligante asfáltico para la elaboración de cada briketa.

**Figura A.3.1.** Compactación de las briquetas de tratamiento doble



**Fuente:** Elaboración propia.

## **Cálculo de la cantidad de materiales de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial**

En la presente sección se desarrolla el cálculo de las dosificaciones de agregado pétreo y ligante asfáltico del tratamiento superficial doble, aplicando el método de dimensión mínima promedio, cuyo procedimiento fue expuesto en la sección 2.8.3.

### **Cálculo de dosificaciones**

Inicialmente se determinan las características del agregado pétreo y del ligante asfáltico, cuyos valores representativos de sus cualidades son empleados en el cálculo de las dosificaciones.

#### **Paso A. Características del agregado pétreo y del ligante asfáltico**

**Agregado pétreo:** A través de los ensayos de densidad real seca, densidad aparente suelta y índice de lajas (índice de aplanamiento), se determinaron los valores representativos de las características del agregado pétreo, los resultados son resumidos en la Tabla A.3.1.

**Tabla A.3.1.** Características de los agregados pétreos

Características	Unidad	Capa	
		1ra	2da
		Grava 3/4"	Gravilla 3/8"
Densidad Real Seca ( $D_{RS}$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2,59	2,61
Densidad Aparente Suelta ( $D_{AS}$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,52	1,49
Índice de lajas	%	20,55	11,67

**Fuente:** Elaboración propia.

**Ligante asfáltico:** Se utiliza como ligante el asfalto convencional 85-100 y el asfalto modificado con polvo de neumático.

Según el Manual de especificaciones técnicas generales de construcción de la ABC, los agregados pétreos deben representar una gradación uniforme que se ajuste a algunas de las franjas granulométricas de la Tabla A.3.2.

**Tabla A.3.2.** Requisitos de gradación de agregados para tratamientos superficiales bituminosos

Tamiz	Porcentaje, en peso, que pasa por los tamices de malla cuadrada-método AASHTO T-27					
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D	Gradación E	Gradación F
1 1/2"	100	-	-	-	-	-
1"	90 - 100	100	-	-	-	-
3/4"	20 - 55	90 - 100	100	-	-	-
1/2"	0 - 10	20 - 55	90 - 100	100	-	-
3/8"	0 - 5	0 - 15	40 - 70	85 - 100	100	100
Nº. 4	-	0 - 5	0 - 15	10 - 3	85 - 100	85 - 100
Nº. 8	-	-	0 - 5	0 - 10	10 - 4	60 - 100
Nº. 100	-	-	-	-	-	0 - 10

**Fuente:** Manual de especificaciones técnicas generales de construcción de la ABC.

Las granulometrías de los agregados son comparadas con las gradaciones de la Tabla A.3.2. en base a dicho contraste, se determinó que la distribución de tamaños de la grava 3/4" y gravilla 3/8", se ajustan a las gradaciones B y D, tal y como se aprecia en la Tabla A.3.3.

**Tabla A.3.3.** Granulometría de los agregados pétreos

Tamiz	% Que pasa			
	1ra capa		2da capa	
	Grava 3/4"	Gradación B	Gravilla 3/8"	Gradación D
1 1/2"	-	-	-	-
1"	100	100	-	-
3/4"	91,19	90 - 100	-	-
1/2"	35,50	20 - 55	100	100
3/8"	12,84	0 - 15	99,23	85 - 100
Nº. 4	0,26	0 - 5	21,51	10 - 30
Nº. 8	-	-	0,66	0 - 10
Nº. 100	-	-	-	-

**Fuente:** Elaboración propia.

### **Paso B. Cálculo de dosificaciones de agregado pétreo y ligante asfáltico**

Tomando en cuenta los valores representativos de las características de los materiales y mediante la aplicación de las Ec. 2.1 y Ec. 2.4, se determinan las dosificaciones del agregado pétreo y ligante asfáltico respectivamente.

#### **Dosificación de agregado pétreo para la 1ra capa**

Aplicando la Ec. 2.1:

$$C = M * (1 - 0,4V) * H * D_{RS} * E$$

Donde:

C= Dosificación de agregado pétreo (kg/m<sup>2</sup>).

M= Factor de evaluación relacionado al clima, tránsito (und).

V= Espacios vacíos entre el agregado suelto (decimal), Ec. 2.2.

H= Dimensión mínima promedio (mm), Ec. 2.3.

D<sub>RS</sub>= Densidad real seca del agregado (gr/cm<sup>3</sup>).

E= Factor de desperdicio (und), Tabla 2.11.

**(M)** Factor de evaluación: Debe ser evaluado por la experiencia del diseñador en base al clima y tránsito. Su valor normal es M = 1.

**(V)** Espacios vacíos entre el agregado suelto: Los espacios vacíos entre el agregado expresado como un decimal, se determinan a partir de la Ec. 2.2.

$$V = 1 - \frac{D_{AS}}{D_{RS}}$$

$$V = 1 - \frac{1,52}{2,59} = 0,41$$

Los valores de densidad aparente suelta del agregado (D<sub>AS</sub>) y densidad real seca del agregado (D<sub>RS</sub>), son extraídos de la Tabla A.3.1.

**(H)** Dimensión mínima promedio: Se determina a partir del tamaño medio de la partícula y el índice de lajas (índice de aplanamiento), mediante la Ec. 2.3.

$$H = \frac{TM}{1,09 + (0,0118 * IL)}$$

$$H = \frac{14,10}{1,09 + (0,0118 * 20,55)} = 10,58 \text{ mm}$$

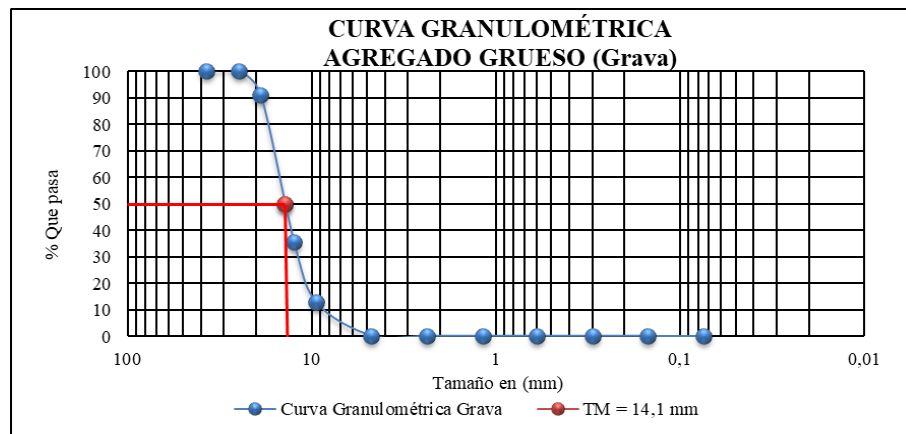
El tamaño medio de la partícula (TM), se obtiene a partir de la lectura de la abertura del tamiz (mm) por el cual pasa el 50% del agregado en la curva granulométrica. Para el presente caso, la abertura del tamiz corresponde a 14,10 mm.

$$\frac{91,19 - 35,50}{\log(19,00) - \log(12,5)} = \frac{91,19 - 50,00}{\log(19,00) - \log(x)}$$

$$X = 14,10 \text{ mm}$$

La gráfica de la curva granulométrica, junto con la determinación del tamaño medio de la partícula se encuentra en la Figura A.3.2. el porcentaje del índice de lajas (índice de aplanamiento) es de 20,55 %, extraído de la Tabla A.3.1.

**Figura A.3.2.** Tamaño medio de la partícula de la grava



**Fuente:** Elaboración propia.

(E) Factor de desperdicio: Considerando la Tabla 2.11. para  $H(\text{mm}) > 9,5$  considerar un factor de desperdicio del 2%,  $E = 1,02$ .

Reemplazando los valores recientemente determinados, en la Ec. 2.1, se obtiene la dosificación de agregado pétreo para la 1ra capa:

$$C = 1 * (1 - 0,4 * 0,41) * 10,58 * 2,59 * 1,02 = 23,37 \text{ kg/m}^2$$

La dosificación de grava de 3/4" para la primera capa será de 23,37 kg/m<sup>2</sup>.

### **Dosificación del ligante asfáltico para la 1ra capa**

Aplicando la Ec. 2.4:

$$D = \frac{K * (0,4 * V * H * T + S + A)}{R}$$

Donde:

D= Dosificación de ligante asfáltico (l/m<sup>2</sup>).

K= Factor de evaluación relacionado al clima (und).

V= Espacios vacíos existentes entre el agregado suelto (decimal).

H= Dimensión mínima promedio (mm), espesor esperado de la capa de tratamiento.

T= Factor de tránsito (und), Tabla 2.12.

S= Corrección por textura superficial (l/m<sup>2</sup>), Tabla 2.13.

A= Corrección por absorción del agregado (l/m<sup>2</sup>).

R= Residuo asfáltico del ligante (decimal).

**(K)** Factor de evaluación: Debe ser evaluado en base al clima por la experiencia del diseñador. Su valor normal es  $K = 1$ .

Los factores **(V)** y **(H)** fueron determinados en el apartado de dosificación del agregado.

**(T)** Factor de tránsito: Debido a que el tránsito a circular es considerado como tráfico ligero (bajo), se empleará la menor cantidad de vehículos por día presentada en la Tabla 2.12. según esta tabla, para un volumen de tránsito menor a 100 vehículos por día se debe emplear un factor de tránsito  $T = 0,85$ .

**(S)** Corrección por textura superficial: La condición de la superficie corresponde a una superficie de textura cerrada. De acuerdo a la Tabla 2.13., para este tipo de condiciones de superficie es necesario aplicar un factor de corrección por textura superficial de  $S = 0,00 \text{ L/m}^2$ .

**(A)** Corrección por absorción del agregado: Por las características de los materiales utilizados en nuestro país, normalmente este factor se desprecia  $A = 0,00 \text{ L/m}^2$ .

**(R)** Residuo asfáltico del ligante bituminoso: Es el porcentaje de asfalto residual, para asfaltos convencionales según Seal Coat and Surface Treatment Manual es igual a  $R = 1$ .

Reemplazando los valores recientemente determinados, en la Ec. 2.4, se obtiene la **dosificación a priori** del ligante asfáltico para la 1ra capa:

$$D = \frac{1,00 * (0,4 * 0,41 * 10,58 * 0,85 + 0,00 + 0,00)}{1,00} = 1,47 \text{ L/m}^2$$

Dosificación a priori del ligante convencional para la primera capa será de  $1,47 \text{ L/m}^2$ .

$$D = \frac{1,00 * (0,4 * 0,41 * 10,58 * 0,85 + 0,00 + 0,00)}{1,00} = 1,47 \text{ L/m}^2$$

Dosificación a priori del ligante modificado con polvo de neumático para la primera capa será de 1,47 L/m<sup>2</sup>.

### Dosificación de agregado pétreo para la 2da capa

Aplicando el mismo procedimiento de la 1ra capa, se determina la dosificación del agregado pétreo para la 2da capa, mediante la aplicación de la Ec. 2.1.

(M) Factor de evaluación: M = 1.

(V) Los valores de densidad aparente suelta del agregado (DAS) y densidad real seca del agregado (DRS), son extraídos de la Tabla A.3.1.

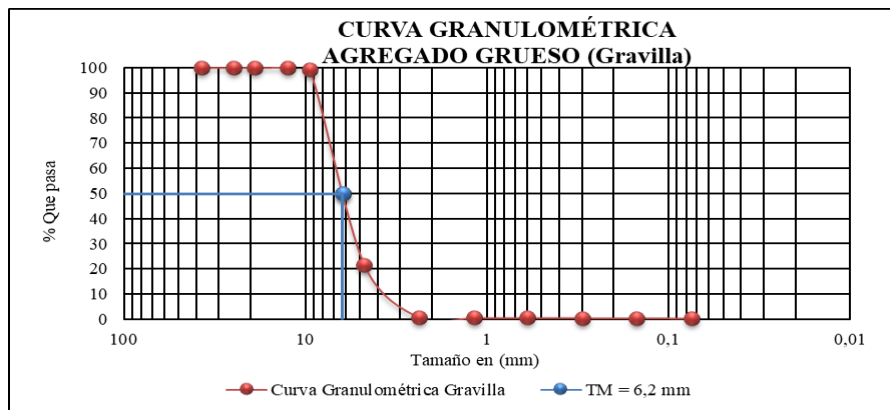
$$V = 1 - \frac{1,49}{2,61} = 0,43$$

(H) Dimensión mínima promedio: Para el presente caso, la abertura del tamiz por el cual pasa el 50% del material, corresponde a una abertura de 6,20 mm, dicho cálculo se adjunta en la Figura A.3.3. el porcentaje del Índice de Lajas (índice de aplanamiento) es extraído de la Tabla A.3.1., para el presente caso es 11,67 %.

$$\frac{99,23 - 21,51}{\log(9,50) - \log(4,75)} = \frac{99,23 - 50,00}{\log(9,50) - \log(x)}$$

$$X = 6,20 \text{ mm}$$

**Figura A.3.3.** Tamaño medio de la partícula de la grava



**Fuente:** Elaboración propia.

$$H = \frac{6,20}{1,09 + (0,0118 * 11,67)} = 5,05 \text{ mm}$$

(E) Factor de desperdicio: Considerando la Tabla 2.11. para H (mm) < 6,5 considerar un factor de desperdicio del 5%, E = 1,05.

Reemplazando los valores recientemente determinados, en la Ec. 2.1, se obtiene la dosificación de agregado pétreo para la 2da capa:

$$C = 1 * (1 - 0,4 * 0,43) * 5,05 * 2,61 * 1,05 = 11,46 \text{ kg/m}^2$$

La dosificación de la gravilla de 3/8" para la segunda capa será de 11,46 kg/m<sup>2</sup>.

### **Dosificación del ligante asfáltico para la 2da capa**

Aplicando el mismo procedimiento de la 1ra capa, se determina la dosificación del ligante asfáltico para la segunda, mediante la aplicación de la Ec. 2.4.

(K) Factor de evaluación: Debe ser evaluado en base al clima por la experiencia del diseñador. Su valor normal es K = 1.

Los factores (V) y (H) fueron determinados en el apartado de dosificación del agregado.

(T) Factor de tránsito: Debido a que el tránsito a circular es considerado como tráfico ligero (bajo), se empleará la menor cantidad de vehículos por día presentada en la Tabla 2.12. según esta tabla, para un volumen de tránsito menor a 100 vehículos por día se debe emplear un factor de tránsito T = 0,85.

(S) Corrección por textura superficial: Para este caso no existe corrección por textura superficial, puesto que, el segundo riego de ligante asfáltico no entra en contacto con la superficie de la capa a tratar. Por lo tanto, S = 0,00 L/m<sup>2</sup>.

(A) Corrección por absorción del agregado: Por las características de los materiales utilizados en nuestro país, normalmente este factor se desprecia A = 0,00 L/m<sup>2</sup>.

(R) Residuo asfáltico del ligante bituminoso: Es el porcentaje de asfalto residual, para asfaltos convencionales según Seal Coat and Surface Treatment Manual es igual a R = 1.



Reemplazando los valores recientemente determinados, en la Ec. 2.4., se obtiene la dosificación a priori del ligante asfáltico para la 2da capa:

$$D = \frac{1,00 * (0,4 * 0,43 * 5,05 * 0,85 + 0,00 + 0,00)}{1,00} = 0,74 \text{ L/m}^2$$

Dosificación a priori del ligante convencional para la segunda capa será de 0,74 L/m<sup>2</sup>.

$$D = \frac{1,00 * (0,4 * 0,43 * 5,05 * 0,85 + 0,00 + 0,00)}{1,00} = 0,74 \text{ L/m}^2$$

Dosificación a priori del ligante modificado con polvo de neumático para la segunda capa será de 0,74 L/m<sup>2</sup>.

### Dosificaciones reales

Determinando las dosificaciones reales, en base a las dosificaciones a priori de cada una de las capas y con las proporciones establecidos en la Tabla A.3.4.

**Tabla A.3.4.** Distribución de dosis total del ligante, en capas individuales

Capa	Tratamiento	Tratamiento
	Doble %	Triple %
1a	40 - 45	30
2a	60 - 55	40
3a	-	30

**Fuente:** Manual de carreteras volumen IV de asfalto de la ABC.

La cantidad de asfalto se distribuye según lo establecido en la Tabla A.3.4., para la primera capa 40 a 45 % del total para la segunda de un 55 a 60 % del total, el espesor del tratamiento superficial debe ser menor a 25 mm (1 pulgada)., de acuerdo con las normas establecidas.

**Tabla A.3.5.** Cálculo de dosificaciones reales del asfalto convencional 85-100 para la 1ra y 2da capa

Capa	Dosificación a priori L/m <sup>2</sup>	Dosificación total L/m <sup>2</sup>	Dosificación real L/m <sup>2</sup>
1ra	A = 1,47	A+B = DT 1,47+0,74 = 2,21	45% x 2,21 = 0,99
2da	B = 0,74		55% x 2,21 = 1,22

**Fuente:** Elaboración propia.

### **Cantidad de materiales de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial**

#### **Para el asfalto convencional 85-100**

Cantidades determinadas con el método empleado:

1ra aplicación	asfalto	0,99	L/m <sup>2</sup>
	agregado	23,37	Kg/m <sup>2</sup>
2da aplicación	asfalto	1,22	L/m <sup>2</sup>
	agregado	11,46	Kg/m <sup>2</sup>

Las cantidades determinadas de agregado pétreo y ligante asfáltico se relacionan con el área del molde de Marshall para determinar la dosificación con la que se elaborará la briqueta.

1ra aplicación	asfalto	8,55	gr/m <sup>2</sup>
	agregado	200,82	gr/m <sup>2</sup>
2da aplicación	asfalto	10,44	gr/m <sup>2</sup>
	agregado	98,48	gr/m <sup>2</sup>

Se emplea el mismo procedimiento que se describió anteriormente para determinar las cantidades de los materiales a utilizar, basándose en los porcentajes de ligante mencionados en la Tabla A.3.4.

**Tabla A.3.6.** Dosificación de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial convencional

Capas	Material	Cantidad
1ra aplicación	asfalto (gr/) a 40% del total	7,60
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	200,82
2da aplicación	asfalto (gr/) a 55% del total	10,44
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	98,48
1ra aplicación	asfalto (gr/) a 41% del total	7,79
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	200,82
2da aplicación	asfalto (gr/) a 56% del total	10,63
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	98,48
1ra aplicación	asfalto (gr/) a 42% del total	7,98
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	200,82
2da aplicación	asfalto (gr/) a 57% del total	10,82
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	98,48
1ra aplicación	asfalto (gr/) a 43% del total	8,17
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	200,82
2da aplicación	asfalto (gr/) a 58% del total	11,01
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	98,48
1ra aplicación	asfalto (gr/) a 44% del total	8,36
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	200,82
2da aplicación	asfalto (gr/) a 59% del total	11,20
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	98,48
1ra aplicación	asfalto (gr/) a 45% del total	8,55
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	200,82
2da aplicación	asfalto (gr/) a 60% del total	11,39
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	98,48

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Para asfalto modificado con polvo de neumático**

Para la dosificación de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático se sigue el procedimiento previamente descrito para determinar las cantidades de materiales necesarias para dicho tratamiento.

**Tabla A.3.7.** Cálculo de dosificaciones reales del asfalto modificado para la 1ra y 2da capa

Capa	Dosificación a priori L/m <sup>2</sup>	Dosificación total L/m <sup>2</sup>	Dosificación real L/m <sup>2</sup>
1ra	A = 0,99	A+B = DT 0,99+1,22 = 2,21	40% x 2,21 = 0,88
2da	B = 1,22		60% x 2,21 = 1,33

**Fuente:** Elaboración propia.

Cantidades determinadas con el método empleado:

1ra aplicación	asfalto	0,88	L/m <sup>2</sup>
	agregado	23,37	Kg/m <sup>2</sup>
2da aplicación	asfalto	1,33	L/m <sup>2</sup>
	agregado	11,46	Kg/m <sup>2</sup>

Las cantidades determinadas de agregado pétreo y ligante asfáltico se relacionan con el área de los moldes de Marshall para determinar la dosificación con la que se elaborará la briqueta.

1ra aplicación	asfalto	7,60	gr/m <sup>2</sup>
	agregado	200,82	gr/m <sup>2</sup>
2da aplicación	asfalto	11,39	gr/m <sup>2</sup>
	agregado	98,48	gr/m <sup>2</sup>

Se emplea el mismo procedimiento que se describió anteriormente para determinar las cantidades de los materiales a utilizar, basándose en los porcentajes de ligante mencionados en la Tabla A.3.4.

En la Tabla A.3.8., se presentan las diversas dosificaciones de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial en relación con los distintos porcentajes de ligante utilizados.

**Tabla A.3.8.** Dosificación de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado

Capas	Material	Cantidad
1ra aplicación	asfalto (gr/) a 40% del total	7,60
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	200,82
2da aplicación	asfalto (gr/) a 55% del total	10,44
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	98,48
1ra aplicación	asfalto (gr/) a 41% del total	7,79
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	200,82
2da aplicación	asfalto (gr/) a 56% del total	10,63
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	98,48
1ra aplicación	asfalto (gr/) a 42% del total	7,98
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	200,82
2da aplicación	asfalto (gr/) a 57% del total	10,82
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	98,48
1ra aplicación	asfalto (gr/) a 43% del total	8,17
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	200,82
2da aplicación	asfalto (gr/) a 58% del total	11,01
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	98,48
1ra aplicación	asfalto (gr/) a 44% del total	8,36
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	200,82
2da aplicación	asfalto (gr/) a 59% del total	11,20
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	98,48
1ra aplicación	asfalto (gr/) a 45% del total	8,55
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	200,82
2da aplicación	asfalto (gr/) a 60% del total	11,39
	agregado (gr/m <sup>2</sup> )	98,48

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Justificación del porcentaje de incorporación del polvo de neumático en el asfalto**

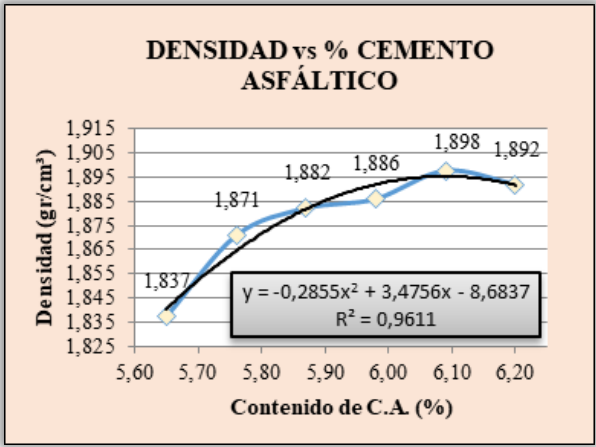
Se evalúa el comportamiento de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial con asfalto modificado con polvo de neumático al 8, 10 y 12%; tratándose de un betún mejorado con caucho (BM) según el “Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas”, las planillas se muestran a continuación:

**Tabla A.3.9.** Planilla de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado al 8%

PLANILLA PARA LA ESTABILIDAD Y LA FLUENCIA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PARA UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE MODIFICADO AL 8%													
				Tipo de cemento asfáltico:		Convencional 85-100							
				Número de golpes		50							
				Radio del molde (cm)		5,230							
N° de brique	Denominación	% de los Materiales		Altura de brique	Peso Brique	Volumen	Densidad Brique		Estabilidad Marshall			Fluencia	
		Ligante asfáltico	Agregado total		P. seco	probeta	densidad	Densidad promedio	lectura del dial	Estabilidad	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
		%	%		grs	cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	mm	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	1A	5,65	94,35	2,11	336,4	181,3	1,855	1,837	478	1268,937	1243,80	10	10,00
2	1B			2,14	337,7	183,9	1,836		466	1236,624		9	
3	1C			2,13	333,2	183,0	1,820		462	1225,852		11	
1	2A	5,76	94,24	2,09	337,4	179,6	1,879	1,871	461	1223,160	1268,94	9	10,33
2	2B			2,12	338,7	182,2	1,859		488	1295,865		12	
3	2C			2,08	335,1	178,7	1,875		485	1287,787		10	
1	3A	5,87	94,13	2,09	336,9	179,6	1,876	1,882	471	1250,088	1276,12	12	10,67
2	3B			2,06	339,1	177,0	1,916		493	1309,329		10	
3	3C			2,10	334,7	180,5	1,855		478	1268,937		10	
1	4A	5,98	94,02	2,10	336,9	180,5	1,867	1,886	468	1242,009	1287,79	9	11,33
2	4B			2,06	336,0	177,0	1,898		496	1317,408		13	
3	4C			2,08	338,3	178,7	1,893		491	1303,944		12	
1	5A	6,09	93,91	2,06	340,0	177,0	1,921	1,898	477	1266,244	1279,71	13	11,67
2	5B			2,09	340,8	179,6	1,898		491	1303,944		10	
3	5C			2,11	339,9	181,3	1,875		478	1268,937		12	
1	6A	6,20	93,80	2,07	340,2	177,9	1,913	1,892	476	1263,552	1268,94	14	13,00
2	6B			2,08	339,1	178,7	1,897		483	1282,401		12	
3	6C			2,11	338,4	181,3	1,866		475	1260,859		13	

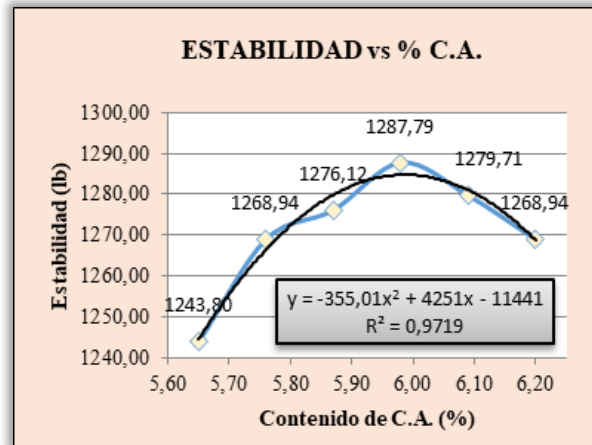
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.4.** Densidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático



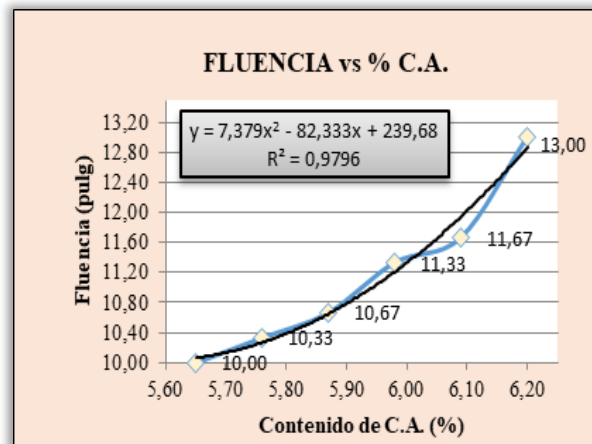
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.5.** Estabilidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.6.** Fluencia de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático



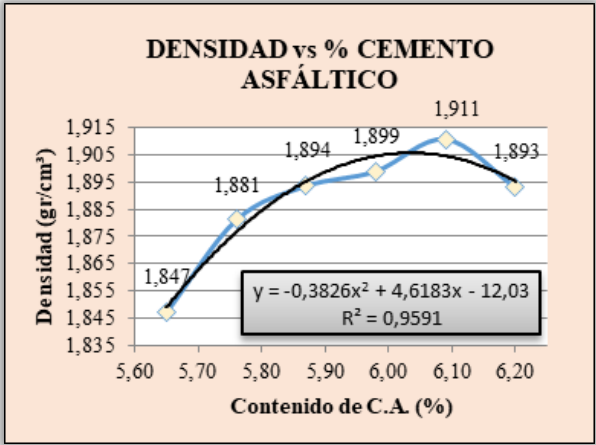
**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A.3.10.** Planilla de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado al 10%

PLANILLA PARA LA ESTABILIDAD Y LA FLUENCIA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PARA UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE MODIFICADO AL 10%													
		Tipo de cemento asfáltico:		Convencional 85-100									
		Número de golpes		50									
		Radio del molde (cm)		5,230									
N° de brique	Denominación	% de los Materiales		Alura de brique	P. seco	Vo lumen probeta	Densidad Brique		Es ta bilidad Mars hall			F luencia	
		Ligante asfáltico	Agregado total				densidad	Densidad promedio	lectura del dial	Estabilidad	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
%	%	cm	grs	cm³	grs/cm³	grs/cm³	mm	libras	libras	0,01pulg	0,01pulg		
1	1A	5,65	94,35	2,12	337,9	182,2	1,855	1,847	478	1268,937	1269,83	9	9,67
2	1B			2,13	336,0	183,0	1,836		482	1279,708		8	
3	1C			2,11	335,7	181,3	1,851		475	1260,859		12	
1	2A	5,76	94,24	2,11	339,4	181,3	1,872	1,881	486	1290,480	1293,17	10	10,00
2	2B			2,10	340,8	180,5	1,889		491	1303,944		11	
3	2C			2,09	338,2	179,6	1,883		484	1285,094		9	
1	3A	5,87	94,13	2,07	339,9	177,9	1,911	1,894	486	1290,480	1301,25	12	10,33
2	3B			2,12	341,0	182,2	1,872		495	1314,715		10	
3	3C			2,09	340,9	179,6	1,898		489	1298,558		9	
1	4A	5,98	94,02	2,07	341,2	177,9	1,918	1,899	490	1301,251	1311,12	11	11,00
2	4B			2,11	341,0	181,3	1,881		498	1322,793		9	
3	4C			2,08	339,3	178,7	1,898		493	1309,329		13	
1	5A	6,09	93,91	2,08	341,9	178,7	1,913	1,911	493	1309,329	1303,94	11	11,33
2	5B			2,09	341,8	179,6	1,903		489	1298,558		13	
3	5C			2,07	340,9	177,9	1,916		491	1303,944		10	
1	6A	6,20	93,80	2,10	340,2	180,5	1,885	1,893	486	1290,480	1292,27	12	12,33
2	6B			2,08	340,9	178,7	1,907		483	1282,401		11	
3	6C			2,09	339,0	179,6	1,888		491	1303,944		14	

**Fuente:** Elaboración propia.

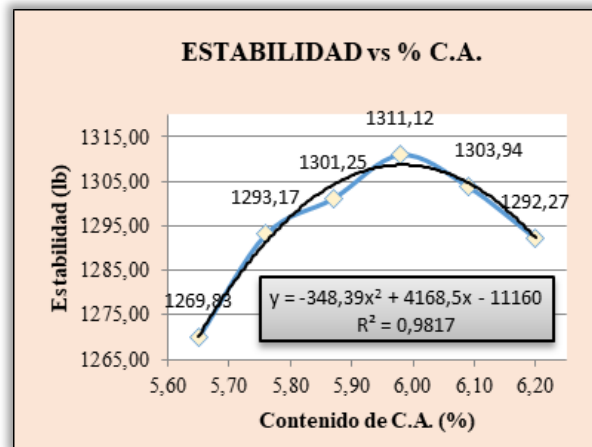
**Figura A.3.7.** Densidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático



**Fuente:** Elaboración propia.

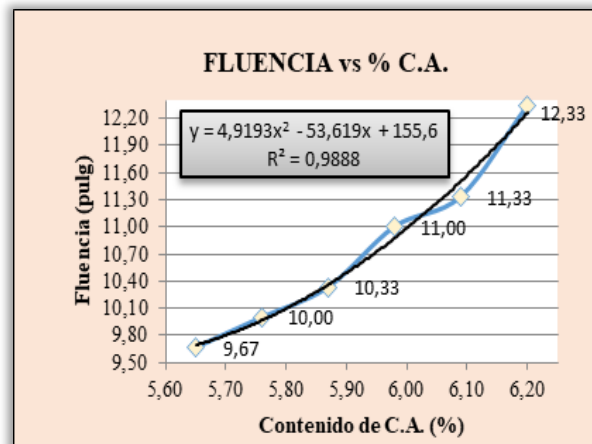


**Figura A.3.8.** Estabilidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.9.** Fluencia de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático



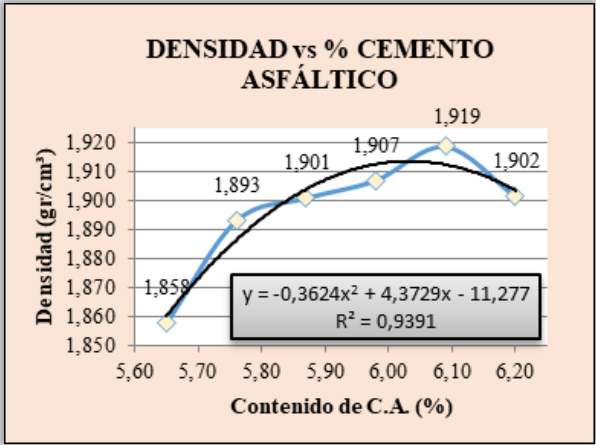
**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A.3.11.** Planilla de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado al 12%

PLANILLA PARA LA ESTABILIDAD Y LA FLUENCIA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PARA UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE MODIFICADO AL 12%													
				Tipo de cemento asfáltico:		Convencional 85-100							
				Número de golpes		50							
				Radio del molde (cm)		5,230							
N° de brique ta	Denominación	% de los Materiales		Altura de brique ta	Peso Brique ta	Volu men	Densidad Brique ta		Est abilidad Mars hall			Fluenc ia	
		Ligante asfáltico	Agregado total		P. seco	probeta	densidad	Densidad promedio	lectura del dial	Estabilidad	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
		%	%		grs	cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	mm	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	1A	5,65	94,35	2,13	340,4	183,0	1,860	1,858	481	1277,016	1277,91	10	9,33
2	1B			2,14	340,5	183,9	1,852		485	1287,787		9	
3	1C			2,12	339,2	182,2	1,862		478	1268,937		9	
1	2A	5,76	94,24	2,10	342,3	180,5	1,897	1,893	496	1317,408	1300,35	11	9,67
2	2B			2,08	341,1	178,7	1,908		487	1293,172		8	
3	2C			2,11	339,7	181,3	1,874		486	1290,480		10	
1	3A	5,87	94,13	2,09	340,2	179,6	1,894	1,901	500	1328,179	1308,43	10	10,33
2	3B			2,08	341,9	178,7	1,913		488	1295,865		12	
3	3C			2,10	342,0	180,5	1,895		490	1301,251		9	
1	4A	5,98	94,02	2,08	340,8	178,7	1,907	1,907	501	1330,872	1316,51	11	10,67
2	4B			2,07	341,3	177,9	1,919		499	1325,486		9	
3	4C			2,10	342,0	180,5	1,895		487	1293,172		12	
1	5A	6,09	93,91	2,06	341,9	177,0	1,931	1,919	503	1336,257	1310,23	13	11,00
2	5B			2,09	342,3	179,6	1,906		485	1287,787		10	
3	5C			2,07	341,2	177,9	1,918		492	1306,636		10	
1	6A	6,20	93,80	2,08	341,3	178,7	1,910	1,902	492	1306,636	1305,74	12	12,00
2	6B			2,07	340,7	177,9	1,915		501	1330,872		11	
3	6C			2,10	339,2	180,5	1,880		482	1279,708		13	

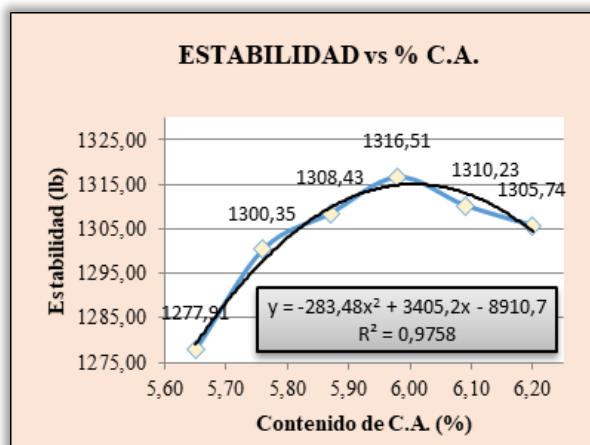
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.10.** Densidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático



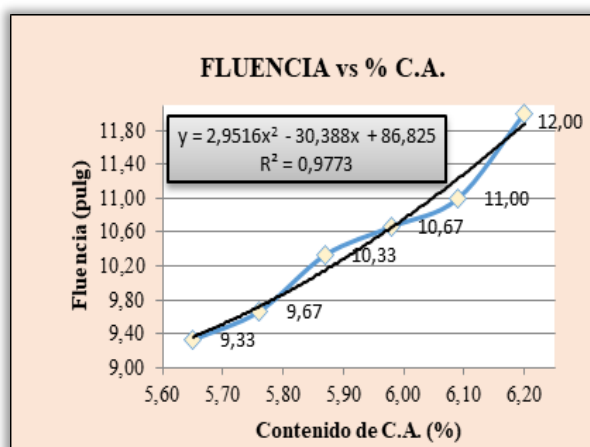
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.11.** Estabilidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.12.** Fluencia de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático



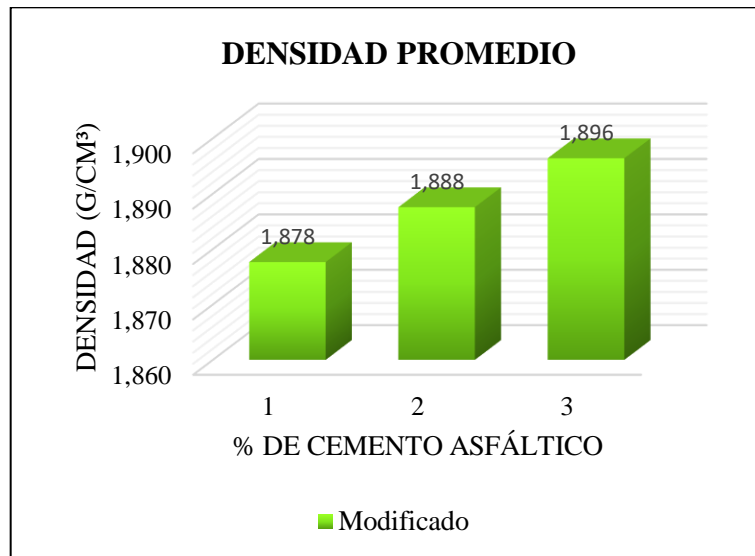
**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A.3.12.** Resumen de las propiedades promediadas a diferentes porcentajes de polvo de neumático

% de caucho	Densidad promedio (gr/cm³)	Estabilidad promedio (lb)	Fluencia promedio (pulg)
8	1,878	1270,88	11,17
10	1,888	1295,27	10,78
12	1,896	1303,20	10,50

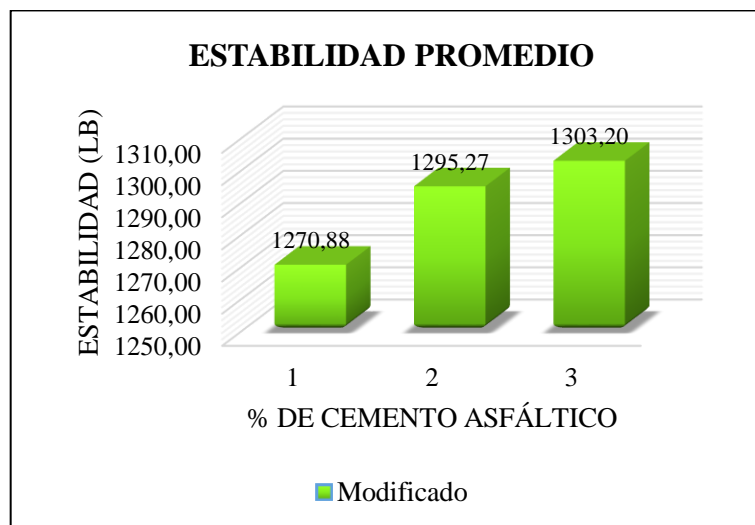
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.13.** Diagrama comparativo de la densidad promedio a diferentes porcentajes de polvo de neumático



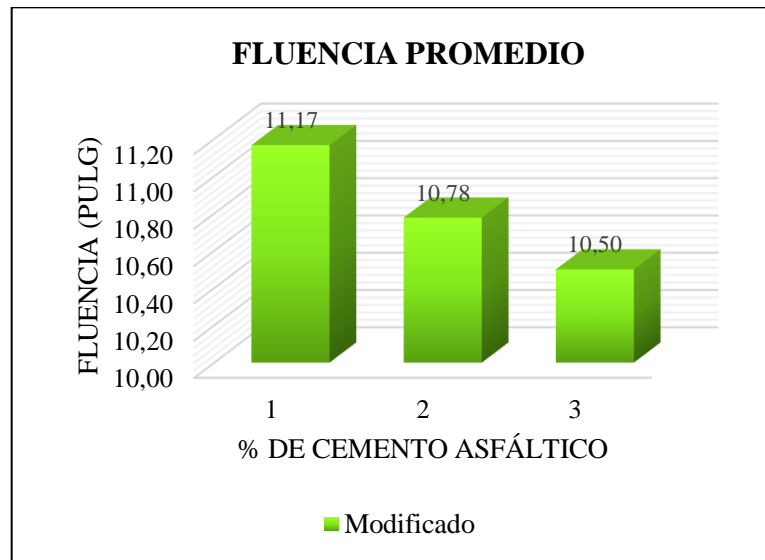
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.14.** Diagrama comparativo de la estabilidad promedio a diferentes porcentajes de polvo de neumático



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.15.** Diagrama comparativo de la fluencia promedio a diferentes porcentajes de polvo de neumático



**Fuente:** Elaboración propia.

Como criterio de partida el asfalto base debe ser más blando que el que se pretende obtener.

Por ser un país subdesarrollado los proyectos apuntan a un gasto menor, en el presente caso se propone usar el menor rango por vía húmeda de la Tabla 2.8. (8 – 12%) tratándose de un betún mejorado con caucho (BM); además que Bolivia carece experiencia respecto a este tema.

Mediante el diagrama comparativo de estabilidad y fluencia promediados a diferentes porcentajes de caucho se puede evidenciar una mejora en cuanto a la estabilidad y una reducción en cuanto a la fluencia a medida que el porcentaje de caucho se incrementa.

Por ende, desde el punto de vista técnico - económico se opta por tomar el valor promedio de la Tabla 2.8. (8 – 12%) tratándose un de un betún mejorado con caucho (BM) donde el porcentaje de incorporación llegaría ser del 10%.

Se verifico que el asfalto modificado con polvo de neumático al 10% cumpla con las especificaciones para un Betún mejorado con caucho (BM).

**Figura A.3.16.** Elaboración del asfalto modificado por vía húmeda



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.17.** Molde de Marshall



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.18.** Briquetas de tratamiento doble con asfalto convencional y asfalto modificado con polvo de neumático



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.19.** Determinación de la altura de las briquetas de tratamiento doble



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.20.** Determinación del peso en seco de las briquetas de tratamiento doble



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Propiedades de estabilidad y fluencia**

La estabilidad y fluencia se lleva a cabo para evaluar el comportamiento de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial constituido con asfalto modificado con polvo de neumático, evaluando principalmente la estabilidad y la fluencia de las briquetas en comparación con la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial con asfalto convencional.

**Figura A.3.21.** Colocado de las briquetas en la mordaza de la prensa de Marshall.



**Fuente:** Elaboración propia.

Al aplicar una carga específica sobre la briqueta, se determina su estabilidad y fluidez. La carga aplicada a la briqueta es a una velocidad constante de  $51 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm/min}$ , hasta que se produzca la falla, la cual se define como la carga máxima que la briqueta pueda resistir.

**Figura A.3.22.** Rompimiento de las briquetas del Marshall



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.23.** Briquetas sometidas a la carga de rotura



**Fuente:** Elaboración propia.

Se muestran a continuación los resultados determinados de la estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial convencional y modificado que presentan las siguientes gráficas.

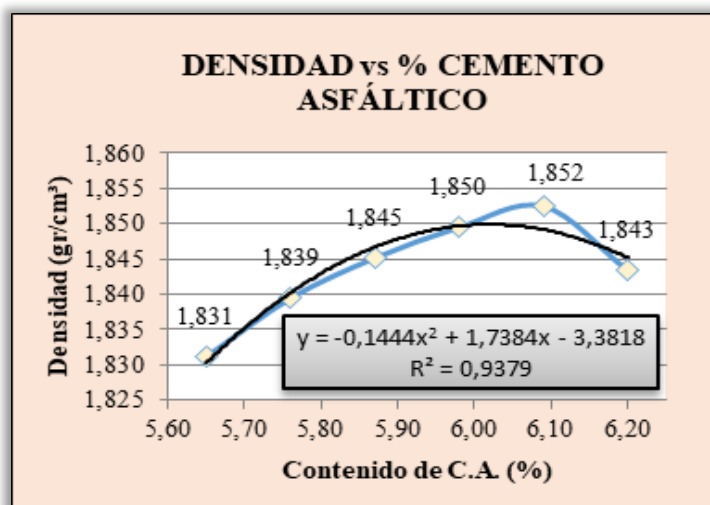


**Tabla A.3.13.** Resultados de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial convencional

Contenido de cemento asfáltico	Contenido de agregado pétreo	Densidad promedio (gr/cm³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)
5,65	94,35	1,831	988,35	10,40
5,76	94,24	1,839	1016,89	10,60
5,87	94,13	1,845	1021,74	11,00
5,98	94,02	1,850	1029,82	11,40
6,09	93,91	1,852	1029,28	12,20
6,20	93,80	1,843	1021,74	14,00

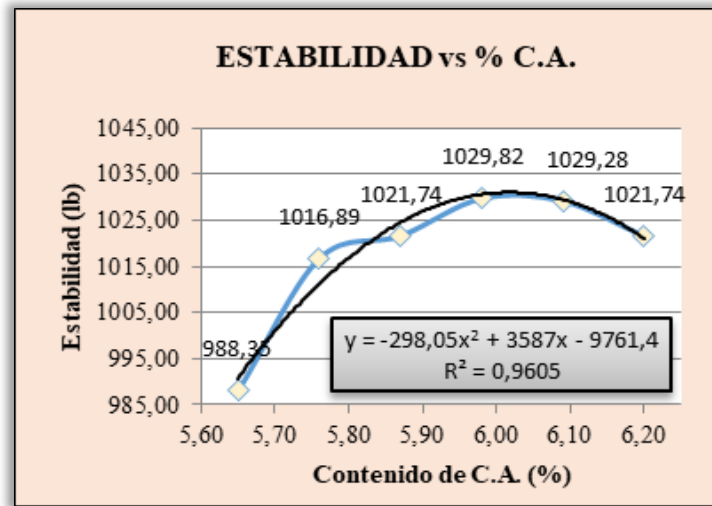
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.24.** Densidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial convencional



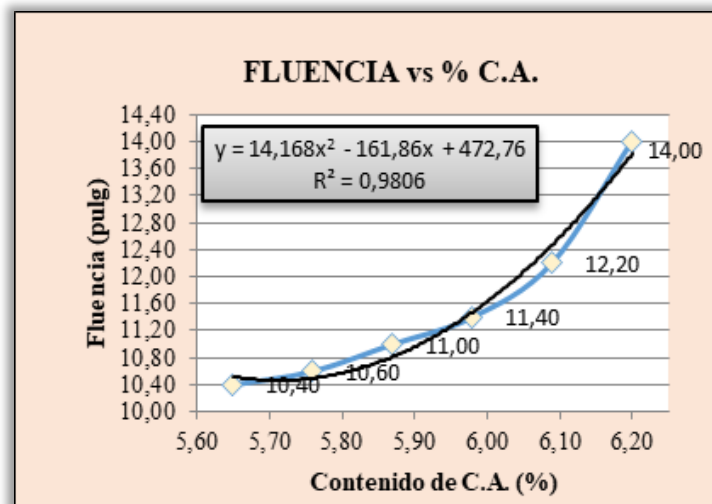
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.25.** Estabilidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial convencional



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.26.** Fluencia de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial convencional



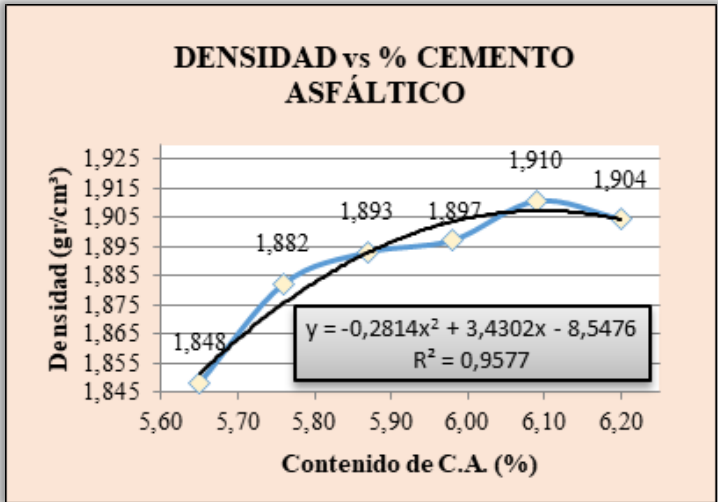
**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A.3.14.** Resultados de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático

Contenido de cemento asfáltico	Contenido de agregado pétreo	Densidad promedio (gr/cm³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)
5,65	94,35	1,848	1271,63	9,80
5,76	94,24	1,882	1295,87	10,20
5,87	94,13	1,893	1303,40	10,60
5,98	94,02	1,897	1313,64	11,20
6,09	93,91	1,910	1305,56	11,40
6,20	93,80	1,904	1294,25	12,60

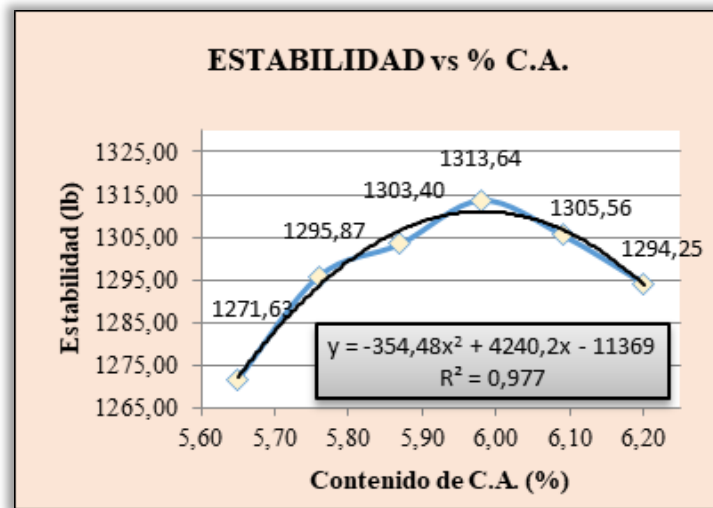
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.27.** Densidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático



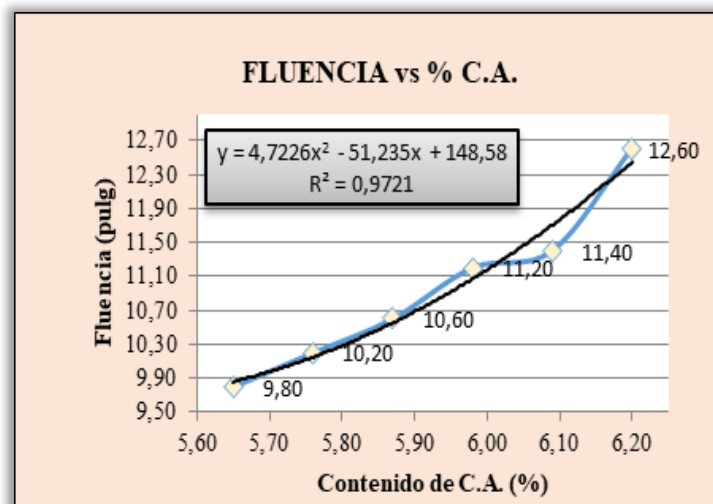
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.28.** Estabilidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.29.** Fluencia de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático



**Fuente:** Elaboración propia.

## **Ensayo para medir el desempeño del tratamiento superficial doble**

### **Ensayo del Vialit**

Este ensayo se llevó a cabo con el fin de evaluar la adherencia entre el agregado pétreo y los dos tipos de asfaltos analizados en el presente proyecto. El procedimiento empleado en este ensayo está conforme a los lineamientos establecidos por el Manual de carreteras volumen IV de asfalto de la ABC.

El procedimiento se aplica fundamentalmente a los materiales empleados en tratamientos superficiales.

### **Equipos e instrumentos utilizados**

#### **Dispositivo de Vialit**

Este equipo está compuesto por una placa de madera con soportes horizontales, sobre la cual se colocará la placa metálica con el ligante y los agregados incrustados. Además, incluye un brazo vertical con un canal en el extremo para facilitar el desplazamiento de la esfera de acero.

**Figura A.3.30.** Esquema del dispositivo de Vialit



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Placa o bandeja metálica**

Se empleará una placa o bandeja metálica de dimensiones conocidas para distribuir el asfalto y los agregados seleccionados en el tratamiento superficial.

**Figura A.3.31.** Placa o bandeja metálica



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Esfera de acero**

La esfera será de acero con un diámetro de aproximadamente 50 mm y un peso de 500 gramos. La esfera será soltada desde una altura de aproximadamente 50 cm sobre la placa metálica o bandeja, tres veces durante un tiempo de 10 segundos.

**Figura A.3.32.** Esfera de acero



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Tamices**

Tamices de: 4 mm (N° 5); 6,3 mm (1/4"); 9,5 mm (3/8"); 14 mm de luz de malla.

**Figura A.3.33.** Tamices



**Fuente:** Elaboración propia.

### Balanza

Una balanza con capacidad mínima de 1 kg y precisión de 0,01 gr.

**Figura A.3.34.** Balanza



**Fuente:** Elaboración propia.

### Preparación de las muestras

Para evaluar la adherencia de los agregados pétreos utilizados en el tratamiento superficial doble, se crearon especímenes para cada capa.

Según la granulometría de los agregados pétreos, se tamizan para obtener las fracciones de ensayo; en los tamices 4/6,3 mm; 6,3/9,5 mm y 9,5/14 mm.

De cada fracción por ensayar se elige grupos de 100 partículas de agregado, se reserva en un recipiente hasta el ensayo.

Se puede utilizar cualquier tipo de ligante que sea apropiado para los tratamientos superficiales con riego, como el cemento asfáltico, emulsiones y eventualmente otros materiales asfálticos. En la Tabla A.3.15. se indican los aportes de ligante en función del tamaño del agregado.

**Tabla A.3.15.** Cantidad de ligante (kg/m<sup>2</sup>)

Tipo de Ligante	Agregado o Tamaño (mm)		
	4/6,3	6,3/9,5	9,5/14
Cemento Asfáltico	1,0	1,1	1,3
Alquitranes	1,0	1,2	1,6
Asfaltos Líquidos	1,0	1,1	1,3
Asfaltos Fluxados	1,0	1,1	1,2
Emulsiones Asfálticas	0,8	1,0	1,2

**Fuente:** Manual de carreteras volumen IV de asfalto de la ABC.

### Preparación de las placas de ensayo

El cálculo de la cantidad de agregado pétreo se realizó pesando las 100 partículas para cada una de las capas y el ligante de igual forma para cada capa, se llevó a cabo relacionando la dosificación proporcionada por la Tabla A.3.15. con el área de la bandeja metálica.

Área de la bandeja metálica utilizada:

Sus dimensiones son  $a = 18 \text{ cm}$   $b = 28 \text{ cm}$ , dando una superficie de  $A = 504,00 \text{ cm}^2$ .

Los resultados de la dosificación de agregado pétreo y ligante para las dos capas del tratamiento superficial con respecto al área de la bandeja metálica se presentan a continuación:

**Tabla A.3.16.** Dosificación del ensayo del Vialit con asfalto convencional

Tratamiento superficial convencional		Cantidad de agregado utilizado (100 partículas) según el tipo de granulometría	
Material	Asfalto (gr/m <sup>2</sup> )	Agregado B (gr)	Agregado D (gr/m <sup>2</sup> )
1a aplicación	65,52	433,50	-
2a aplicación	50,40	-	30,20
1a aplicación	65,52	438,60	-
2a aplicación	50,40	-	30,00
1a aplicación	65,52	435,80	-
2a aplicación	50,40	-	31,60

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A.3.17.** Dosificación del ensayo del Vialit con asfalto modificado

Tratamiento superficial modificado		Cantidad de agregado utilizado (100 partículas) según el tipo de granulometría	
Material	Asfalto (gr/m <sup>2</sup> )	Agregado B (gr)	Agregado D (gr/m <sup>2</sup> )
1a aplicación	65,52	436,00	-
2a aplicación	50,40	-	28,50
1a aplicación	65,52	443,00	-
2a aplicación	50,40	-	31,10
1a aplicación	65,52	434,70	-
2a aplicación	50,40	-	30,40

**Fuente:** Elaboración propia.



### **Realización del ensayo**

El ensayo se realiza normalmente a una temperatura ambiente no inferior a 10° C, dejando las bandejas en estas condiciones antes de ensayarlas durante un mínimo de media hora.

Se nivela el dispositivo para el ensayo y se coloca la bandeja en posición invertida, con los agregados hacia abajo, apoyada sobre las puntas de soporte.

El ensayo consiste en dejar caer la bola libremente, soltándola desde la canaleta inclinada hasta que golpea en el centro de la bandeja. La caída se repite tres veces en menos de 10 segundos.

**Figura A.3.35.** Dispositivo de Vialit fabricado



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.36.** Muestra del ensayo de Vialit



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura A.3.37.** Determinando las características adhesivas de los materiales del tratamiento superficial doble



**Fuente:** Elaboración propia.

El ensayo se realiza tanto para el tratamiento superficial doble con asfalto convencional y asfalto modificado con polvo de neumático (polímero).

**ANEXO IV**  
**ENSAYOS DE LABORATORIO**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES  
"Con Ética y Responsabilidad Social"

## PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático	
Procedencia: Posta Municipal (Tarija)	Fecha: 14/06/2023
Identif. Muestra: Grava chancada 3/4"	Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

### Porcentaje de caras fracturadas - ensayo N° 1

Peso Total (gr.) =		1500				
Tamaño del agregado		Muestra retenida	Material triturado	Material natural	Mat. con caras fracturadas	Material natural
Pasa tamiz	Retenido en tamiz	A (gr)	B (gr)	C (A - B)	D (%)	E (%)
1 1/2 "	1 "	-	-	-	-	-
1 "	3/4 "	63,30	58,90	4,40	93,05	6,95
3/4 "	1/2 "	836,10	764,70	71,40	91,46	8,54
1/2 "	3/8 "	298,80	276,00	22,80	92,37	7,63
Promedio					92,29	7,71

### Porcentaje de caras fracturadas - ensayo N° 2

Peso Total (gr.) =		1500				
Tamaño del agregado		Muestra retenida	Material triturado	Material natural	Mat. con caras fracturadas	Material natural
Pasa tamiz	Retenido en tamiz	A (gr)	B (gr)	C (A - B)	D (%)	E (%)
1 1/2 "	1 "	-	-	-	-	-
1 "	3/4 "	134,60	123,90	10,70	92,05	7,95
3/4 "	1/2 "	898,30	801,60	96,70	89,24	10,76
1/2 "	3/8 "	265,60	243,80	21,80	91,79	8,21
Promedio					91,03	8,97

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**

**Porcentaje de caras fracturadas - ensayo N° 3**

Peso Total (gr.) =		1500				
Tamaño del agregado		Muestra retenida	Material triturado	Material natural	Mat. con caras fracturadas	Material natural
Pasa tamiz	Retenido en tamiz	A (gr)	B (gr)	C (A - B)	D (%)	E (%)
1 1/2 "	1 "	-	-	-	-	-
1 "	3/4 "	197,20	177,10	20,10	89,81	10,19
3/4 "	1/2 "	657,40	610,60	46,80	92,88	7,12
1/2 "	3/8 "	354,30	323,70	30,60	91,36	8,64
<b>Promedio</b>					<b>91,35</b>	<b>8,65</b>

**Porcentaje de caras fracturadas - promedio**

N° de ensayo	Partículas fracturadas (D) (%)	Promedio de partículas fracturadas (D) (%)
1	92,29	<b>91,56</b>
2	91,03	
3	91,35	

.....  
Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....  
Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

"Con Ética y Responsabilidad Social"

## DESGASTE DE LOS ÁNGELES - AGREGADO GRUESO (GRAVA)

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático

Procedencia: Posta Municipal (Tarija)

Fecha: 16/06/2023

Identif. Muestra: Grava chancada 3/4"

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

### Desgaste de los ángeles ensayo N° 1 - grava 3/4"

Grava 3/4"						
Tamaño del agregado		Cantidad (gr)	Tipo de gradación	Número de esferas	Ret. tamiz N°12 (1,7 mm) (gr)	Desgaste (%)
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
3/4 "	1/2 "	2500,00	B	11 esferas a 32,5 Rpm 500 revoluciones	4058,10	18,84
1/2 "	3/8 "	2500,00				
Peso total		5000,00	-	-	-	-

### Desgaste de los ángeles ensayo N° 2 - grava 3/4"

Grava 3/4"						
Tamaño del agregado		Cantidad (gr)	Tipo de gradación	Número de esferas	Ret. tamiz N°12 (1,7 mm) (gr)	Desgaste (%)
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
3/4 "	1/2 "	2500,00	B	11 esferas a 32,5 Rpm 500 revoluciones	4031,90	19,36
1/2 "	3/8 "	2500,00				
Peso total		5000,00	-	-	-	-

Chambi Paco Ruben Nelson

LABORATORISTA

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES

**Desgaste de los ángeles ensayo N° 3 - grava 3/4"**

Grava 3/4"						
Tamaño del agregado		Cantidad (gr)	Tipo de gradación	Número de esferas	Ret. tamiz N°12 (1,7 mm) (gr)	Desgaste (%)
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
3/4 "	1/2 "	2500,00	B	11 esferas a 32,5 Rpm 500 revoluciones	4042,60	19,15
1/2 "	3/8 "	2500,00				
Peso total		5000,00	-	-	-	-

**Desgaste de los ángeles promedio - grava 3/4"**

Grava 3/4"						
Tamaño del agregado		Cantidad (gr)	Tipo de gradación	Número de esferas	Ret. tamiz N°12 (1,7 mm) (gr)	Desgaste (%)
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
3/4 "	1/2 "	2500,00	B	11 esferas a 32,5 Rpm 500 revoluciones	4044,20	19,12
1/2 "	3/8 "	2500,00				
Peso total		5000,00	-	-	-	-

.....

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES**

**Y RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

"Con Ética y Responsabilidad Social"

## DESGASTE DE LOS ÁNGELES - AGREGADO GRUESO (GRAVILLA)

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático

Procedencia: Posta Municipal (Tarija)

Fecha: 16/06/2023

Identif. Muestra: Gravilla chancada 3/8"

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

### Desgaste de los ángeles ensayo N° 1 - gravilla 3/8"

Gravilla 3/8"						
Tamaño del agregado		Cantidad (gr)	Tipo de gradación	Número de esferas	Ret. tamiz N°12 (1,7 mm) (gr)	Desgaste (%)
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
3/8 "	1/4 "	2500,00	C	8 esferas a 32,5 Rpm 500 revoluciones	3895,90	22,08
1/4 "	N° 4	2500,00				
Peso total		5000,00	-	-	-	-

### Desgaste de los ángeles ensayo N° 2 - gravilla 3/8"

Gravilla 3/8"						
Tamaño del agregado		Cantidad (gr)	Tipo de gradación	Número de esferas	Ret. tamiz N°12 (1,7 mm) (gr)	Desgaste (%)
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
3/8 "	1/4 "	2500,00	C	8 esferas a 32,5 Rpm 500 revoluciones	3864,40	22,71
1/4 "	N° 4	2500,00				
Peso total		5000,00	-	-	-	-

Chambi Paco Ruben Nelson

LABORATORISTA

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES



**Desgaste de los ángeles ensayo N° 3 - gravilla 3/8"**

Gravilla 3/8"						
Tamaño del agregado		Cantidad (gr)	Tipo de gradación	Número de esferas	Ret. tamiz N°12 (1,7 mm) (gr)	Desgaste (%)
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
3/8 "	1/4 "	2500,00	C	8 esferas a 32,5 Rpm 500 revoluciones	3875,80	22,48
1/4 "	N° 4	2500,00				
Peso total		5000,00	-	-	-	-

**Desgaste de los ángeles promedio - gravilla 3/8"**

Gravilla 3/8"						
Tamaño del agregado		Cantidad (gr)	Tipo de gradación	Número de esferas	Ret. tamiz N°12 (1,7 mm) (gr)	Desgaste (%)
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
3/8 "	1/4 "	2500,00	C	8 esferas a 32,5 Rpm 500 revoluciones	3878,70	22,43
1/4 "	N° 4	2500,00				
Peso total		5000,00	-	-	-	-

.....

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**

	<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b> <b>"Con Ética y Responsabilidad Social"</b>	
<b>ENSAYO DE DUCTILIDAD</b>		
Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático		
Procedencia: Posta Municipal (Tarja)		Fecha: 11/07/23
Identif. Ligante: Cemento Asfáltico 85!100		Laboratorista: Ruben Nelson Chambi Paco

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Ductilidad a 25°C AASHTO T51-00	cm	131	126	127
Ductilidad promedio		128,00		

ESPECIFICACIONES	
Mínimo	Máximo
100	-

.....

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....

Ing. Avila Sandoval Seila Claudia

**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**



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

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES  
"Con Ética y Responsabilidad Social"

**DURABILIDAD EN SOLUCIÓN DE SULFATOS - AGREGADO GRUESO (GRAVA)**

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático	
Procedencia: Posta Municipal (Tarija)	Fecha: 16/06/2023
Identif. Muestra: Grava chancada 3/4"	Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

**Durabilidad en solución de sulfatos - grava 3/4"**

Granulometría				Peso de materiales		Pérdidas	
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz ret.	Retenido original (%)	Antes ensayo (gr)	Después ensayo (gr)	Pérdidas parciales (%)	Pérdidas corregidas (%)
1 "	1 "	3/4 "	8,81	500,00	495,60	0,88	0,08
3/4 "	3/4 "	1/2 "	55,68	670,00	665,10	0,73	0,41
1/2 "	1/2 "	3/8 "	22,66	330,00	322,00	2,42	0,55
3/8 "	3/8 "	N° 4	12,58	300,00	288,00	4,00	0,50
N° 4	N° 4	N° 8	0,10	100,00	95,30	4,70	0,00
% Total de pérdida							1,54

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

"Con Ética y Responsabilidad Social"

## DURABILIDAD EN SOLUCIÓN DE SULFATOS - AGREGADO GRUESO (GRAVILLA)

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

Procedencia: Posta Municipal (Tarija)

Fecha: 16/06/2023

Identif. Muestra: Gravilla chancada 3/8"

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

### Durabilidad en solución de sulfatos - gravilla 3/8"

Granulometría				Peso de materiales		Pérdidas	
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz ret.	Retenido original (%)	Antes ensayo (gr)	Después ensayo (gr)	Pérdidas parciales (%)	Pérdidas corregidas (%)
1/2 "	1/2 "	3/8 "	0,77	330,00	328,70	0,39	0,00
3/8 "	3/8 "	N° 4	77,72	300,00	296,20	1,27	0,98
N° 4	N° 4	N° 8	20,85	100,00	97,70	2,30	0,48
% Total de pérdida							1,46

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**



## GRANULOMETRÍA 1 - POLVO DE NEUMÁTICO (POLÍMERO)

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

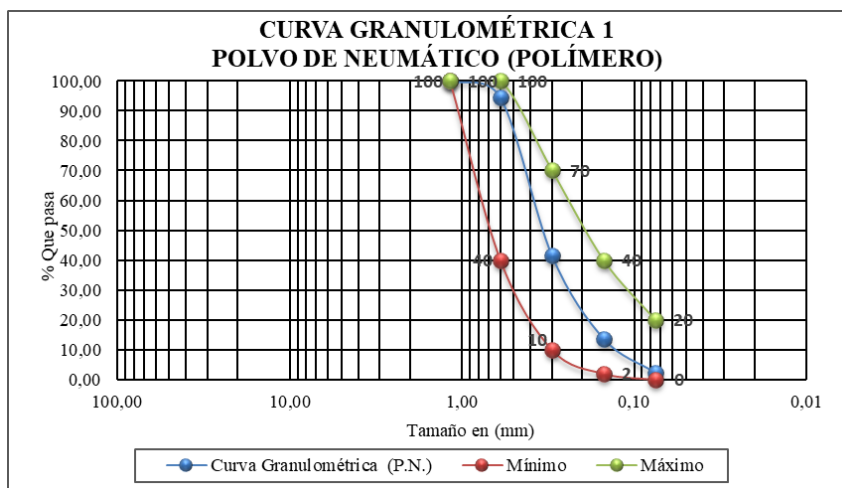
Procedencia: Ingoqui (Cochabamba)

Fecha: 27/06/2023

Identif. Muestra: Polvo de neumático

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

Peso Total (gr.) =	100				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr.)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
			(gr.)	(%)	
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	5,60	5,60	5,60	94,40
N° 50	0,30	53,00	58,60	58,60	41,40
N° 100	0,15	27,80	86,40	86,40	13,60
N° 200	0,075	11,40	97,80	97,80	2,20
Base	-	1,80	99,60	99,60	0,40
SUMA =		99,60			
PÉRDIDAS =		0,40	TAMAÑO MAX: N° 16		





## GRANULOMETRÍA 2 - POLVO DE NEUMÁTICO (POLÍMERO)

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

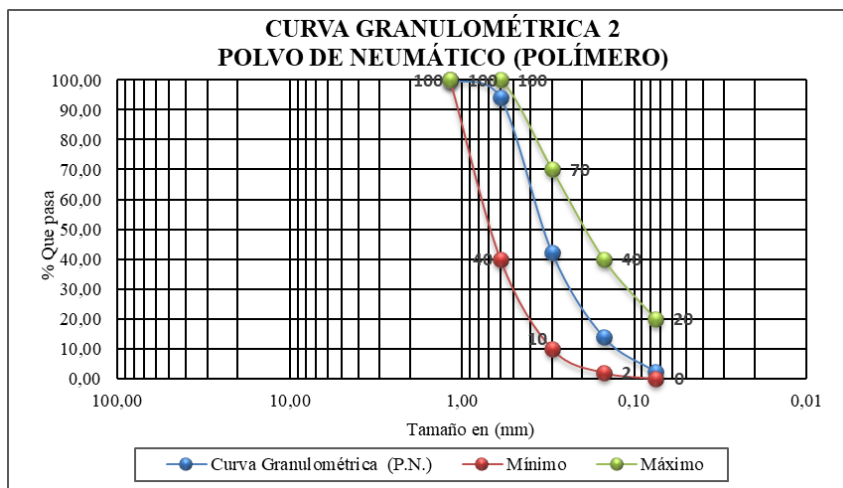
Procedencia: Ingoqui (Cochabamba)

Fecha: 27/06/2023

Identif. Muestra: Polvo de neumático

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

Peso Total (gr.) =	100				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr.)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
			(gr.)	(%)	
3/8 "	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 8	2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 16	1,18	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 30	0,60	6,00	6,00	6,00	94,00
Nº 50	0,30	51,90	57,90	57,90	42,10
Nº 100	0,15	28,30	86,20	86,20	13,80
Nº 200	0,075	11,60	97,80	97,80	2,20
Base	-	1,70	99,50	99,50	0,50
SUMA =		99,50	TAMAÑO MAX: Nº 16		
PÉRDIDAS =		0,50			



Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**



### GRANULOMETRÍA 3 - POLVO DE NEUMÁTICO (POLÍMERO)

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

Procedencia: Ingoqui (Cochabamba)

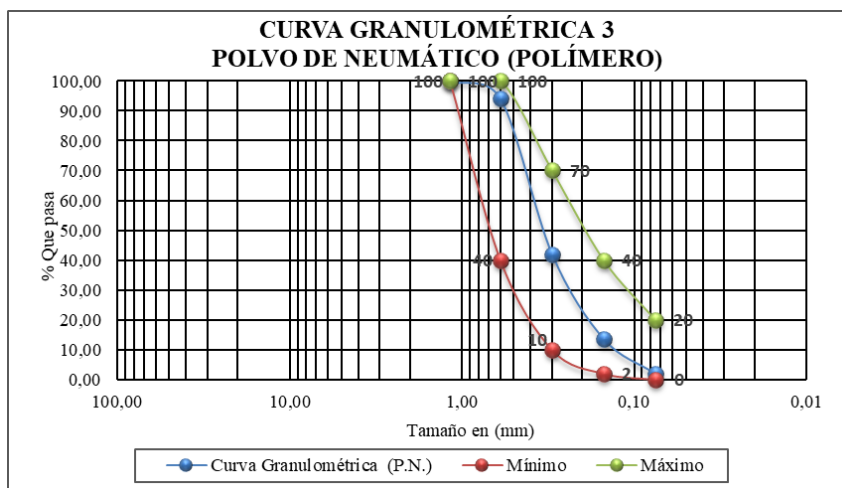
Fecha: 27/06/2023

Identif. Muestra: Polvo de neumático

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

Peso Total (gr.) =	100				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr.)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
			(gr.)	(%)	
3/8 "	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 8	2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 16	1,18	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 30	0,60	5,80	5,80	5,80	94,20
Nº 50	0,30	52,20	58,00	58,00	42,00
Nº 100	0,15	28,50	86,50	86,50	13,50
Nº 200	0,075	11,70	98,20	98,20	1,80
Base	-	1,60	99,80	99,80	0,20
SUMA =		99,80			
PÉRDIDAS =		0,20			

TAMAÑO MAX: Nº 16



Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES**

**Y RESISTENCIA DE MATERIALES**



## GRANULOMETRÍA PROMEDIO - POLVO DE NEUMÁTICO (POLÍMERO)

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

Procedencia: Ingoqui (Cochabamba)

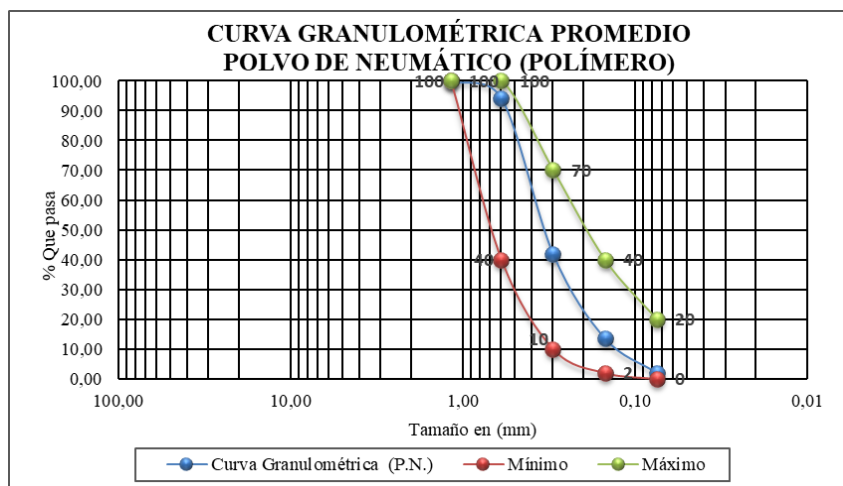
Fecha: 27/06/2023

Identif. Muestra: Polvo de neumático

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

Peso Total (gr.) =	100				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr.)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
			(gr.)	(%)	
3/8 "	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 8	2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 16	1,18	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 30	0,60	5,80	5,80	5,80	94,20
Nº 50	0,30	52,37	58,17	58,17	41,83
Nº 100	0,15	28,20	86,37	86,37	13,63
Nº 200	0,075	11,57	97,93	97,93	2,07
Base	-	1,70	99,63	99,63	0,37
SUMA =		99,63			
PÉRDIDAS =		0,37			

TAMAÑO MAX = Nº16



Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**





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

**GRANULOMETRÍA 1 - AGREGADO GRUESO (GRAVA)**

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

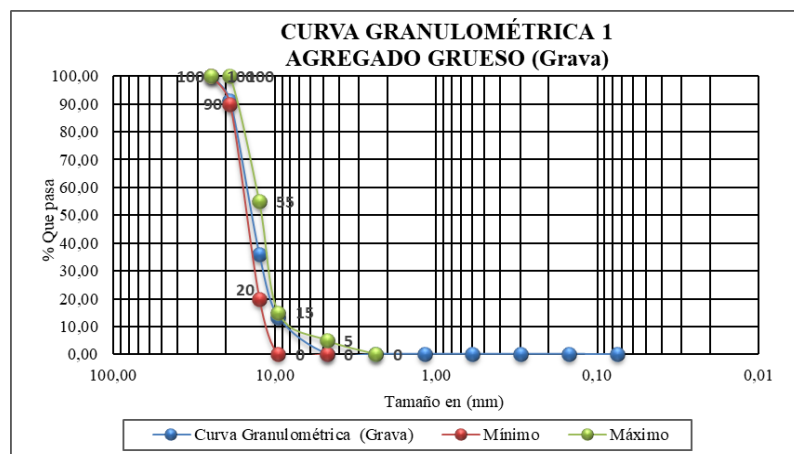
Procedencia: Posta Municipal (Tarija)

Fecha: Mayo de 2023

Identif. Muestra: Grava chancada 3/4"

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

Peso Total (gr.) =	5000				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr.)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
			(gr.)	(%)	
1 1/2 "	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 "	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,00	443,30	443,30	8,87	91,13
1/2 "	12,50	2762,10	3205,40	64,11	35,89
3/8 "	9,50	1125,50	4330,90	86,62	13,38
Nº 4	4,75	655,30	4986,20	99,72	0,28
Nº 8	2,36	4,70	4990,90	99,82	0,18
Nº 16	1,18	0,30	4991,20	99,82	0,18
Nº 30	0,60	0,20	4991,40	99,83	0,17
Nº 50	0,30	0,40	4991,80	99,84	0,16
Nº 100	0,15	0,50	4992,30	99,85	0,15
Nº 200	0,075	3,10	4995,40	99,91	0,09
Base	-	4,30	4999,70	99,99	0,01
SUMA =		4999,70			
PÉRDIDAS =		0,30	TAMAÑO MAX = 1 "		



Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Arce Avendaño Jose Ricardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE SUELOS**

Nota: El laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería Civil no se hace responsable por los resultados obtenidos en esta investigación, es enteramente responsabilidad del investigador.



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

**GRANULOMETRÍA 2 - AGREGADO GRUESO (GRAVA)**

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

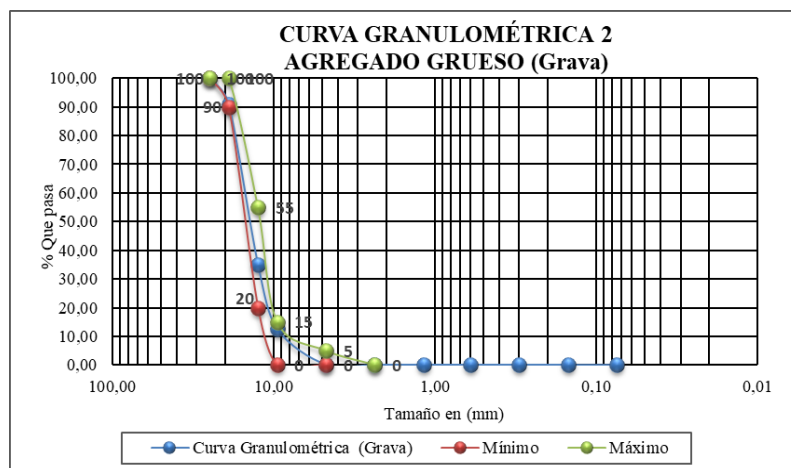
Procedencia: Posta Municipal (Tarja)

Fecha: Mayo de 2023

Identif. Muestra: Grava chancada 3/4"

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

Peso Total (gr.) =	5000				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr.)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
			(gr.)	(%)	
1 1/2 "	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 "	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,00	448,50	448,50	8,97	91,03
1/2 "	12,50	2802,60	3251,10	65,02	34,98
3/8 "	9,50	1116,30	4367,40	87,35	12,65
Nº 4	4,75	620,40	4987,80	99,76	0,24
Nº 8	2,36	4,40	4992,20	99,84	0,16
Nº 16	1,18	0,20	4992,40	99,85	0,15
Nº 30	0,60	0,20	4992,60	99,85	0,15
Nº 50	0,30	0,30	4992,90	99,86	0,14
Nº 100	0,15	0,50	4993,40	99,87	0,13
Nº 200	0,075	2,20	4995,60	99,91	0,09
Base	-	3,95	4999,55	99,99	0,01
SUMA =		4999,55			
PÉRDIDAS =		0,45	TAMAÑO MAX = 1 "		



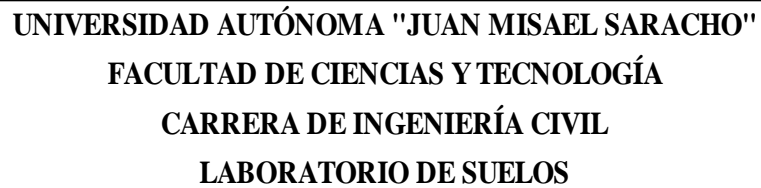
Chambi Paco Ruben Nelson

Ing. Arce Avendaño Jose Ricardo

**LABORATORISTA**

**RESP. DEL LABORATORIO DE SUELOS**

Nota: El laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería Civil no se hace responsable por los resultados obtenidos en esta investigación, es enteramente responsabilidad del investigador.



Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

Fecha: Mayo de 2023

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

**CURVA GRANULOMÉTRICA 3**  
**AGREGADO GRUESO (Grava)**

% Que pasa

Tamaño en (mm)

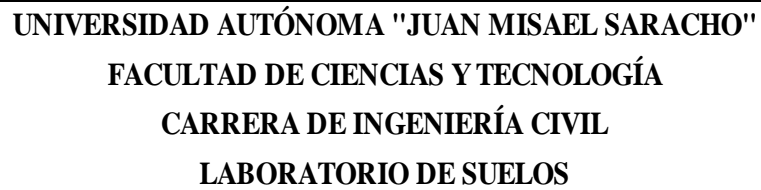
Curva Granulométrica (Grava) Mínimo Máximo

Tamaño en (mm)	Curva Granulométrica (Grava) (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
100.00	100.00	100.00	100.00
75.00	100.00	100.00	100.00
60.00	100.00	100.00	100.00
47.50	100.00	100.00	100.00
37.50	100.00	100.00	100.00
30.00	100.00	100.00	100.00
25.00	100.00	100.00	100.00
20.00	100.00	100.00	100.00
15.00	100.00	100.00	100.00
12.50	100.00	100.00	100.00
10.00	100.00	100.00	100.00
7.50	100.00	100.00	100.00
6.00	100.00	100.00	100.00
4.75	100.00	100.00	100.00
3.75	100.00	100.00	100.00
3.00	100.00	100.00	100.00
2.50	100.00	100.00	100.00
2.00	100.00	100.00	100.00
1.50	100.00	100.00	100.00
1.25	100.00	100.00	100.00
1.00	100.00	100.00	100.00
0.75	100.00	100.00	100.00
0.60	100.00	100.00	100.00
0.50	100.00	100.00	100.00
0.425	100.00	100.00	100.00
0.375	100.00	100.00	100.00
0.300	100.00	100.00	100.00
0.250	100.00	100.00	100.00
0.200	100.00	100.00	100.00
0.150	100.00	100.00	100.00
0.125	100.00	100.00	100.00
0.100	100.00	100.00	100.00
0.075	100.00	100.00	100.00
0.060	100.00	100.00	100.00
0.050	100.00	100.00	100.00
0.0425	100.00	100.00	100.00
0.0375	100.00	100.00	100.00
0.0300	100.00	100.00	100.00
0.0250	100.00	100.00	100.00
0.0200	100.00	100.00	100.00
0.0150	100.00	100.00	100.00
0.0125	100.00	100.00	100.00
0.0100	100.00	100.00	100.00
0.0075	100.00	100.00	100.00
0.0060	100.00	100.00	100.00
0.0050	100.00	100.00	100.00
0.00425	100.00	100.00	100.00
0.00375	100.00	100.00	100.00
0.00300	100.00	100.00	100.00
0.00250	100.00	100.00	100.00
0.00200	100.00	100.00	100.00
0.00150	100.00	100.00	100.00
0.00125	100.00	100.00	100.00
0.00100	100.00	100.00	100.00
0.00075	100.00	100.00	100.00
0.00060	100.00	100.00	100.00
0.00050	100.00	100.00	100.00
0.000425	100.00	100.00	100.00
0.000375	100.00	100.00	100.00
0.000300	100.00	100.00	100.00
0.000250	100.00	100.00	100.00
0.000200	100.00	100.00	100.00
0.000150	100.00	100.00	100.00
0.000125	100.00	100.00	100.00
0.000100	100.00	100.00	100.00
0.000075	100.00	100.00	100.00
0.000060	100.00	100.00	100.00
0.000050	100.00	100.00	100.00
0.0000425	100.00	100.00	100.00
0.0000375	100.00	100.00	100.00
0.0000300	100.00	100.00	100.00
0.0000250	100.00	100.00	100.00
0.0000200	100.00	100.00	100.00
0.0000150	100.00	100.00	100.00
0.0000125	100.00	100.00	100.00
0.0000100	100.00	100.00	100.00
0.0000075	100.00	100.00	100.00
0.0000060	100.00	100.00	100.00
0.0000050	100.00	100.00	100.00
0.00000425	100.00	100.00	100.00
0.00000375	100.00	100.00	100.00
0.00000300	100.00	100.00	100.00
0.00000250	100.00	100.00	100.00
0.00000200	100.00	100.00	100.00
0.00000150	100.00	100.00	100.00
0.00000125	100.00	100.00	100.00
0.00000100	100.00	100.00	100.00
0.00000075	100.00	100.00	100.00
0.00000060	100.00	100.00	100.00
0.00000050	100.00	100.00	100.00
0.000000425	100.00	100.00	100.00
0.000000375	100.00	100.00	100.00
0.000000300	100.00	100.00	100.00
0.000000250	100.00	100.00	100.00
0.000000200	100.00	100.00	100.00
0.000000150	100.00	100.00	100.00
0.000000125	100.00	100.00	100.00
0.000000100	100.00	100.00	100.00
0.000000075	100.00	100.00	100.00
0.000000060	100.00	100.00	100.00
0.000000050	100.00	100.00	100.00
0.0000000425	100.00	100.00	100.00
0.0000000375	100.00	100.00	100.00
0.0000000300	100.00	100.00	100.00
0.0000000250	100.00	100.00	100.00
0.0000000200	100.00	100.00	100.00
0.0000000150	100.00	100.00	100.00
0.0000000125	100.00	100.00	100.00
0.0000000100	100.00	100.00	100.00
0.0000000075	100.00	100.00	100.00
0.0000000060	100.00	100.00	100.00
0.0000000050	100.00	100.00	100.00
0.00000000425	100.00	100.00	100.00
0.00000000375	100.00	100.00	100.00
0.00000000300	100.00	100.00	100.00
0.00000000250	100.00	100.00	100.00
0.00000000200	100.00	100.00	100.00
0.00000000150	100.00	100.00	100.00
0.00000000125	100.00	100.00	100.00
0.00000000100	100.00	100.00	100.00
0.00000000075	100.00	100.00	100.00
0.00000000060	100.00	100.00	100.00
0.00000000050	100.00	100.00	100.00
0.000000000425	100.00	100.00	100.00
0.000000000375	100.00	100.00	100.00
0.000000000300	100.00	100.00	100.00
0.000000000250	100.00	100.00	100.00
0.000000000200	100.00	100.00	100.00
0.000000000150	100.00	100.00	100.00
0.000000000125	100.00	100.00	100.00
0.000000000100	100.00	100.00	100.00
0.000000000075	100.00	100.00	100.00
0.000000000060	100.00	100.00	100.00
0.000000000050	100.00	100.00	100.00
0.0000000000425	100.00	100.00	100.00
0.0000000000375	100.00	100.00	100.00
0.0000000000300	100.00	100.00	100.00
0.0000000000250	100.00	100.00	100.00
0.0000000000200	100.00	100.00	100.00
0.0000000000150	100.00	100.00	100.00
0.0000000000125	100.00	100.00	100.00
0.0000000000100	100.00	100.00	100.00
0.0000000000075	100.00	100.00	100.00
0.0000000000060	100.00	100.00	100.00
0.0000000000050	100.00	100.00	100.00
0.00000000000425	100.00	100.00	100.00
0.00000000000375	100.00	100.00	100.00
0.00000000000300	100.00	100.00	100.00
0.00000000000250	100.00	100.00	100.00
0.00000000000200	100.00	100.00	100.00
0.00000000000150	100.00	100.00	100.00
0.00000000000125	100.00	100.00	100.00
0.00000000000100	100.00	100.00	100.00
0.00000000000075	100.00	100.00	100.00
0.00000000000060	100.00	100.00	100.00
0.00000000000050	100.00	100.00	100.00
0.000000000000425	100.00	100.00	100.00
0.000000000000375	100.00	100.00	100.00
0.000000000000300	100.00	100.00	100.00
0.000000000000250	100.00	100.00	100.00
0.000000000000200	100.00	100.00	100.00
0.000000000000150	100.00	100.00	100.00
0.000000000000125	100.00	100.00	100.00
0.000000000000100	100.00	100.00	100.00
0.000000000000075	100.00	100.00	100.00
0.000000000000060	100.00	100.00	100.00
0.000000000000050	100.00	100.00	100.00
0.0000000000000425	100.00	100.00	100.00
0.0000000000000375	100.00	100.00	100.00
0.0000000000000300	100.00	100.00	100.00
0.0000000000000250	100.00	100.00	100.00
0.0000000000000200	100.00	100.00	100.00
0.0000000000000150	100.00	100.00	100.00
0.0000000000000125	100.00	100.00	100.00
0.0000000000000100	100.00	100.00	100.00
0.0000000000000075	100.00	100.00	100.00
0.0000000000000060	100.00	100.00	100.00
0.0000000000000050	100.00	100.00	100.00
0.00000000000000425	100.00	100.00	100.00
0.00000000000000375	100.00	100.00	100.00
0.00000000000000300	100.00	100.00	100.00
0.00000000000000250	100.00	100.00	100.00
0.00000000000000200	100.00	100.00	100.00
0.00000000000000150	100.00	100.00	100.00
0.00000000000000125	100.00	100.00	100.00
0.00000000000000100	100.00	100.00	100.00
0.00000000000000075	100.00	100.00	100.00
0.00000000000000060	100.00	100.00	100.00
0.00000000000000050	100.00	100.00	100.00
0.000000000000000425	100.00	100.00	100.00
0.000000000000000375	100.00	100.00	100.00
0.000000000000000300	100.00	100.00	100.00
0.000000000000000250	100.00	100.00	100.00
0.000000000000000200	100.00	100.00	100.00
0.000000000000000150	100.00	100.00	100.00
0.000000000000000125	100.00	100.00	100.00
0.000000000000000100	100.00	100.00	100.00
0.000000000000000075	100.00	100.00	100.00
0.000000000000000060	100.00	100.00	100.00
0.000000000000000050	100.00	100.00	100.00
0.0000000000000000425			

Ing. Arce Avendaño Jose Ricardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE SUELOS**

Nota: El laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería Civil no se hace responsable por los resultados obtenidos en esta investigación, es enteramente responsabilidad del investigador.



Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

Fecha: Mayo de 2023

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

**CURVA GRANULOMÉTRICA PROMEDIO  
AGREGADO GRUESO (Grava)**

Tamaño en (mm)	% Que pasa (Mínimo)	% Que pasa (Curva Granulométrica)	% Que pasa (Máximo)
100,00	100	100	100
75,00	90	100	100
60,00	55	35	55
47,50	20	15	15
37,50	8	8	8
30,00	5	5	5
25,00	0	0	0
20,00	0	0	0
15,00	0	0	0
12,50	0	0	0
10,00	0	0	0
7,50	0	0	0
6,00	0	0	0
4,75	0	0	0
3,75	0	0	0
3,00	0	0	0
2,50	0	0	0
2,00	0	0	0
1,50	0	0	0
1,25	0	0	0
1,00	0	0	0
0,75	0	0	0
0,60	0	0	0
0,50	0	0	0
0,425	0	0	0
0,375	0	0	0
0,300	0	0	0
0,250	0	0	0
0,200	0	0	0
0,150	0	0	0
0,125	0	0	0
0,100	0	0	0
0,075	0	0	0

Ing. Arce Avendaño Jose Ricardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE SUELOS**

Nota: El laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería Civil no se hace responsable por los resultados obtenidos en esta investigación, es enteramente responsabilidad del investigador.



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

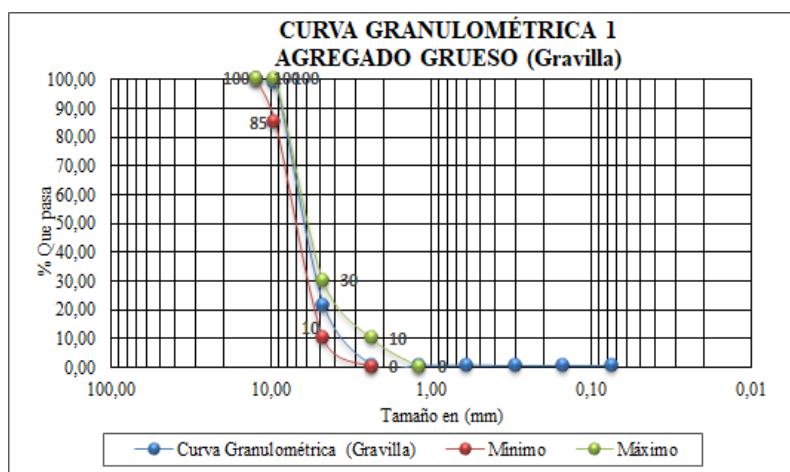
**GRANULOMETRÍA 1 - AGREGADO GRUESO (GRAVILLA)**

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

Procedencia: Posta Municipal (Tarija)  
Identif. Muestra: Gravilla chancada 3/8"

Fecha: Mayo de 2023  
Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

Peso Total (gr.) =	1000				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr.)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
			(gr.)	(%)	
1 1/2 "	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 "	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2 "	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 "	9,50	7,20	7,20	0,72	99,28
Nº 4	4,75	777,40	784,60	78,46	21,54
Nº 8	2,36	208,70	993,30	99,33	0,67
Nº 16	1,18	1,40	994,70	99,47	0,53
Nº 30	0,60	0,10	994,80	99,48	0,52
Nº 50	0,30	0,10	994,90	99,49	0,51
Nº 100	0,15	0,30	995,20	99,52	0,48
Nº 200	0,075	1,00	996,20	99,62	0,38
Base	-	3,30	999,50	99,95	0,05
SUMA =		999,50			
PÉRDIDAS =		0,50	TAMAÑO MAX = 1/2 "		



Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Arce Avendaño Jose Ricardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE SUELOS**

Nota: El laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería Civil no se hace responsable por los resultados obtenidos en esta investigación, es enteramente responsabilidad del investigador.



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

**GRANULOMETRÍA 2 - AGREGADO GRUESO (GRAVILLA)**

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático

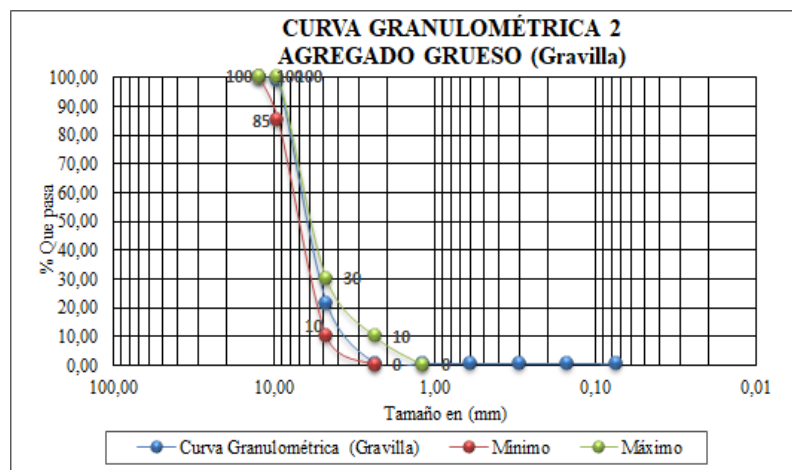
Procedencia: Posta Municipal (Tarija)

Fecha: Mayo de 2023

Identif. Muestra: Gravilla chancada 3/8"

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

Peso Total (gr.) =	1000				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr.)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
			(gr.)	(%)	
1 1/2 "	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 "	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2 "	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 "	9,50	7,80	7,80	0,78	99,22
Nº 4	4,75	778,60	786,40	78,64	21,36
Nº 8	2,36	207,20	993,60	99,36	0,64
Nº 16	1,18	1,20	994,80	99,48	0,52
Nº 30	0,60	0,20	995,00	99,50	0,50
Nº 50	0,30	0,20	995,20	99,52	0,48
Nº 100	0,15	0,20	995,40	99,54	0,46
Nº 200	0,075	0,90	996,30	99,63	0,37
Base	-	3,40	999,70	99,97	0,03
SUMA =		999,70			
PÉRDIDAS =		0,30	TAMAÑO MAX = 1/2 "		



Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Arce Avendaño Jose Ricardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE SUELOS**

Nota: El laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería Civil no se hace responsable por los resultados obtenidos en esta investigación, es enteramente responsabilidad del investigador.



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

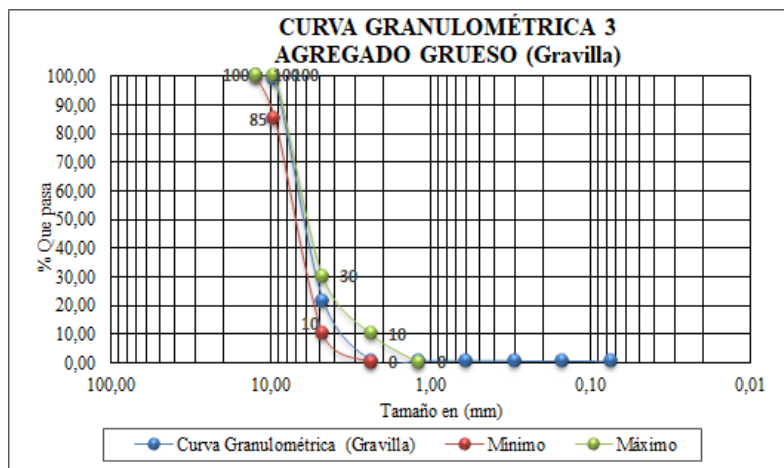
**GRANULOMETRÍA 3 - AGREGADO GRUESO (GRAVILLA)**

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático

Procedencia: Posta Municipal (Tarja)  
Identif. Muestra: Gravilla chancada 3/8"

Fecha: Mayo de 2023  
Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

Peso Total (gr.) = *****1000					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr.)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
			(gr.)	(%)	
1 1/2 "	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 "	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2 "	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 "	9,50	8,10	8,10	0,81	99,19
Nº 4	4,75	775,70	783,80	78,38	21,62
Nº 8	2,36	209,60	993,40	99,34	0,66
Nº 16	1,18	1,30	994,70	99,47	0,53
Nº 30	0,60	0,10	994,80	99,48	0,52
Nº 50	0,30	0,10	994,90	99,49	0,51
Nº 100	0,15	0,40	995,30	99,53	0,47
Nº 200	0,075	1,20	996,50	99,65	0,35
Base	-	3,10	999,60	99,96	0,04
SUMA =		999,60			
PÉRDIDAS =		0,40	TAMAÑO MAX = 1/2 "		



.....  
Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....  
Ing. Arce Avendaño Jose Ricardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE SUELOS**

Nota: El laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería Civil no se hace responsable por los resultados obtenidos en esta investigación, es enteramente responsabilidad del investigador.



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

**GRANULOMETRÍA PROMEDIO - AGREGADO GRUESO (GRAVILLA)**

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático

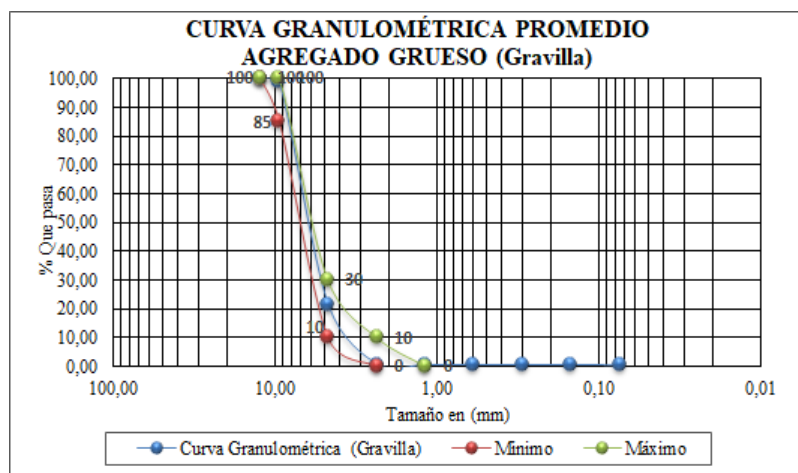
Procedencia: Posta Municipal (Tarija)

Fecha: Mayo de 2023

Identif. Muestra: Gravela chancada 3/8"

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

Peso Total (gr.) =	1000				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr.)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
			(gr.)	(%)	
1 1/2 "	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 "	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2 "	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 "	9,50	7,70	7,70	0,77	99,23
Nº 4	4,75	777,23	784,93	78,49	21,51
Nº 8	2,36	208,50	993,43	99,34	0,66
Nº 16	1,18	1,30	994,73	99,47	0,53
Nº 30	0,60	0,13	994,87	99,49	0,51
Nº 50	0,30	0,13	995,00	99,50	0,50
Nº 100	0,15	0,30	995,30	99,53	0,47
Nº 200	0,075	1,03	996,33	99,63	0,37
Base	-	3,27	999,60	99,96	0,04
SUMA =		999,60			
PÉRDIDAS =		0,40	TAMAÑO MAX = 1/2 "		



Chambi Paco Ruben Nelson

Ing. Arce Avendaño Jose Ricardo

**LABORATORISTA**

**RESP. DEL LABORATORIO DE SUELOS**

Nota: El laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería Civil no se hace responsable por los resultados obtenidos en esta investigación, es enteramente responsabilidad del investigador.





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

"Con Ética y Responsabilidad Social"

## ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO - AGREGADO GRUESO (GRAVA)

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático

Procedencia: Posta Municipal (Tarija)

Fecha: 28/06/2023

Identif. Muestra: Grava chancada 3/4"

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

### Índice de aplanamiento ensayo N° 1 - grava (3/4")

Peso de muestra (gr.) =		3000				
Tamiz (pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido (Ri)	Peso de la cantidad de partículas (Pi) (gr)	Peso de partículas que pasan (Pli) (gr)	Índice de aplanamiento (Ili) (%)	Índice de aplanamiento total (Ili) (%)
11/2" - 1"	-	0,00	-	-	-	20,62
1" - 3/4"	265,90	8,86	265,90	54,70	20,57	
3/4" - 1/2"	1671,20	55,71	1236,00	252,20	20,40	
1/2" - 3/8"	682,30	22,74	456,60	98,70	21,62	
3/8" - 1/4"	321,10	10,70	104,40	20,50	19,64	

### Índice de aplanamiento ensayo N° 2 - grava (3/4")

Peso de muestra (gr.) =		3000				
Tamiz (pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido (Ri)	Peso de la cantidad de partículas (Pi) (gr)	Peso de partículas que pasan (Pli) (gr)	Índice de aplanamiento (Ili) (%)	Índice de aplanamiento total (Ili) (%)
11/2" - 1"	-	0,00	-	-	-	20,25
1" - 3/4"	271,20	9,04	271,20	55,3	20,39	
3/4" - 1/2"	1682,60	56,09	1228,80	245,60	19,99	
1/2" - 3/8"	671,20	22,37	461,40	102,20	22,15	
3/8" - 1/4"	320,80	10,69	98,70	17,30	17,53	

Chambi Paco Ruben Nelson

LABORATORISTA

"Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES

**Índice de aplanamiento ensayo N° 3 - grava (3/4")**

Peso de muestra (gr.) =		3000				
Tamiz (pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido (Ri)	Peso de la cantidad de partículas (Pi) (gr)	Peso de partículas que pasan (Pli) (gr)	Índice de aplanamiento (Ili) (%)	Índice de aplanamiento total (Ili) (%)
11/2" - 1"	-	0,00	-	-	-	<b>20,78</b>
1" - 3/4"	254,30	8,48	255,10	52,8	20,70	
3/4" - 1/2"	1662,90	55,43	1221,00	253,30	20,75	
1/2" - 3/8"	694,10	23,14	467,80	103,50	22,12	
3/8" - 1/4"	317,20	10,57	100,20	18,10	18,06	

**Índice de aplanamiento - promedio**

N° de ensayo	Índice de aplanamiento (Ili) (%)	Promedio
1	20,62	<b>20,55</b>
2	20,25	
3	20,78	

.....  
Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....  
Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**

**Índice de alargamiento ensayo N° 1 - grava (3/4")**

Peso de muestra (gr.) =		3000				
Tamiz (pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido (Ri)	Peso de la cantidad de partículas (Pi) (gr)	Peso de partículas que pasan (Pai) (gr)	Índice de alargamiento (Iai) (%)	Índice de alargamiento total (Iai) (%)
11/2" - 1"	-	0,00	-	-	-	<b>21,94</b>
1" - 3/4"	265,90	8,86	265,90	59,80	22,49	
3/4" - 1/2"	1671,20	55,71	1236,00	260,20	21,05	
1/2" - 3/8"	682,30	22,74	456,60	107,40	23,52	
3/8" - 1/4"	321,10	10,70	104,40	23,70	22,70	

**Índice de alargamiento ensayo N° 2 - grava (3/4")**

Peso de muestra (gr.) =		3000				
Tamiz (pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido (Ri)	Peso de la cantidad de partículas (Pi) (gr)	Peso de partículas que pasan (Pai) (gr)	Índice de alargamiento (Iai) (%)	Índice de alargamiento total (Iai) (%)
11/2" - 1"	-	0,00	-	-	-	<b>21,69</b>
1" - 3/4"	271,20	9,04	271,20	59,3	21,87	
3/4" - 1/2"	1682,60	56,09	1228,80	252,40	20,54	
1/2" - 3/8"	671,20	22,37	461,40	115,20	24,97	
3/8" - 1/4"	320,80	10,69	98,70	20,40	20,67	

**Índice de alargamiento ensayo N° 3 - grava (3/4")**

Peso de muestra (gr.) =		3000				
Tamiz (pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido (Ri)	Peso de la cantidad de partículas (Pi) (gr)	Peso de partículas que pasan (Pai) (gr)	Índice de alargamiento (Iai) (%)	Índice de alargamiento total (Iai) (%)
11/2" - 1"	-	0,00	-	-	-	<b>22,63</b>
1" - 3/4"	254,30	8,48	255,10	55,7	21,83	
3/4" - 1/2"	1662,90	55,43	1221,00	270,90	22,19	
1/2" - 3/8"	694,10	23,14	467,80	112,80	24,11	
3/8" - 1/4"	317,20	10,57	100,20	22,40	22,36	

**Índice de alargamiento - promedio**

N° de ensayo	Índice de alargamiento (Iai) (%)	Promedio
1	21,94	<b>22,08</b>
2	21,69	
3	22,63	

.....  
Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....  
Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**



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

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES  
"Con Ética y Responsabilidad Social"

**ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO - AGREGADO GRUESO  
(GRAVILLA)**

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

Procedencia: Posta Municipal (Tarija)

Fecha: 28/06/2023

Identif. Muestra: Gravilla chancada 3/8"

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

**Índice de aplanamiento ensayo N° 1 - grava (3/8")**

Peso de muestra (gr.) =		1000				
Tamiz (pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido (Ri)	Peso de la cantidad de partículas (Pi) (gr)	Peso de partículas que pasan (Pli) (gr)	Índice de aplanamiento (Ili) (%)	Índice de aplanamiento total (Ili) (%)
3/4" - 1/2"	-	0,00	-	-	-	12,46
1/2" - 3/8"	7,70	0,77	0,00	0,00	0,00	
3/8" - 1/4"	462,00	46,20	127,60	15,90	12,46	

**Índice de aplanamiento ensayo N° 2 - grava (3/8")**

Peso de muestra (gr.) =		1000				
Tamiz (pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido (Ri)	Peso de la cantidad de partículas (Pi) (gr)	Peso de partículas que pasan (Pli) (gr)	Índice de aplanamiento (Ili) (%)	Índice de aplanamiento total (Ili) (%)
3/4" - 1/2"	-	0,00	-	-	-	10,60
1/2" - 3/8"	7,10	0,71	0,00	0,00	0,00	
3/8" - 1/4"	468,70	46,87	135,80	14,40	10,60	

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**

**Índice de aplanamiento ensayo N° 3 - grava (3/8")**

Peso de muestra (gr.) =		1000				
Tamiz (pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido (Ri)	Peso de la cantidad de partículas (Pi) (gr)	Peso de partículas que pasan (Pli) (gr)	Índice de aplanamiento (Ili) (%)	Índice de aplanamiento total (Ili) (%)
3/4" - 1/2"	-	0,00	-	-	-	<b>11,93</b>
1/2" - 3/8"	7,60	0,76	0,00	0,00	0,00	
3/8" - 1/4"	451,50	45,15	139,10	16,60	11,93	

**Índice de aplanamiento - promedio**

N° de ensayo	Índice de aplanamiento (Ili) (%)	Promedio
1	12,46	<b>11,67</b>
2	10,60	
3	11,93	

.....  
Chambi Paco Ruben Nelson  
**LABORATORISTA**

.....  
Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo  
**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**

**Índice de alargamiento ensayo N° 1 - gravilla (3/8")**

Peso de muestra (gr.) =		1000				
Tamiz (pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido (Ri)	Peso de la cantidad de partículas (Pi) (gr)	Peso de partículas que pasan (Pai) (gr)	Índice de alargamiento (Iai) (%)	Índice de alargamiento totales (Iai) (%)
3/4" - 1/2"	-	0,00	-	-	-	<b>12,93</b>
1/2" - 3/8"	7,70	0,77	0,00	0,00	0,00	
3/8" - 1/4"	462,00	46,20	127,60	16,50	12,93	

**Índice de alargamiento ensayo N° 2 - gravilla (3/8")**

Peso de muestra (gr.) =		1000				
Tamiz (pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido (Ri)	Peso de la cantidad de partículas (Pi) (gr)	Peso de partículas que pasan (Pai) (gr)	Índice de alargamiento (Iai) (%)	Índice de alargamiento totales (Iai) (%)
3/4" - 1/2"	-	0,00	-	-	-	<b>11,49</b>
1/2" - 3/8"	7,10	0,71	0,00	0,00	0,00	
3/8" - 1/4"	468,70	46,87	135,80	15,60	11,49	

**Índice de alargamiento ensayo N° 3 - gravilla (3/8")**

Peso de muestra (gr.) =		1000				
Tamiz (pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido (Ri)	Peso de la cantidad de partículas (Pi) (gr)	Peso de partículas que pasan (Pai) (gr)	Índice de alargamiento (Iai) (%)	Índice de alargamiento totales (Iai) (%)
3/4" - 1/2"	-	0,00	-	-	-	<b>12,33</b>
1/2" - 3/8"	7,60	0,76	0,00	0,00	0,00	
3/8" - 1/4"	451,50	45,15	139,10	17,2	12,33	

**Índice de alargamiento - promedio**

N° de ensayo	Índice de aplanamiento (Iai) (%)	Promedio
1	12,93	<b>12,25</b>
2	11,49	
3	12,33	



.....  
Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....  
Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES**

**Y RESISTENCIA DE MATERIALES**

	<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b> <b>"Con Ética y Responsabilidad Social"</b>	
<b>ENSAYO DE PENETRACIÓN</b>		
Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático		
Procedencia: Posta Municipal (Tarija) - Ingoqui (Cbba)      Fecha: 27/08/2024		
Identif. Ligante: C.A. 85!100 modificado con P.N.      Laboratorista: Ruben Nelson Chambi Paco		

Descripción		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Penetración a 25 °C, 100gr y 5seg AASHTO T49 -97	Lectura N° 1	0,1 mm	76	66	68
	Lectura N° 2	0,1 mm	70	64	62
	Lectura N° 3	0,1 mm	73	65	62
	Promedio	0,1 mm	73,00	65,00	64,00
Penetración promedio		0,1 mm	67,33		

ESPECIFICACIONES	
Mínimo	Máximo
50	70

.....

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....

Ing. Avila Sandoval Seila Claudia

**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**

	<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b> <b>"Con Ética y Responsabilidad Social"</b>	
<b>ENSAYO DE PENETRACIÓN</b>		
Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático		
Procedencia: Posta Municipal (Tarja)		Fecha: 28/06/2023
Identif. Ligante: Cemento 5sfáltico 85!100		Laboratorista: Ruben Nelson Chambi Paco

Descripción		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Penetración a 25 °C, 100gr y 5seg AASHTO T49 -97	Lectura N° 1	0,1 mm	98	91	95
	Lectura N° 2	0,1 mm	87	90	86
	Lectura N° 3	0,1 mm	93	87	89
	Promedio	0,1 mm	92,67	89,33	90,00
Penetración promedio		0,1 mm	<b>90,67</b>		

ESPECIFICACIONES	
Mínimo	Máximo
85	100

.....

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....

Ing. Avila Sandoval Seila Claudia

**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

"Con Ética y Responsabilidad Social"

## PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN - AGREGADO GRUESO (GRAVA)

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

Procedencia: Posta Municipal (Tarija)

Fecha: 19/06/2023

Identif. Muestra: Grava chancada 3/4"

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

Nº de ensayo	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra S.S.S. "B" (gr)	Peso muestra sumergida "C" (gr)	P.E. Granel (gr/cm³)	P.E. S.S.S. (gr/cm³)	P.E. Aparente (gr/cm³)	% de Absorción
1,00	4940,40	5000,00	3095,00	2,593	2,625	2,677	1,206
2,00	4939,50	5000,00	3096,50	2,595	2,627	2,680	1,225
3,00	4944,70	5000,00	3094,50	2,595	2,624	2,673	1,118
Promedio				2,59	2,63	2,68	1,18

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

"Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

"Con Ética y Responsabilidad Social"

## PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN - AGREGADO GRUESO (GRAVILLA)

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

Procedencia: Posta Municipal (Tarija)

Fecha: 19/06/2023

Identif. Muestra: Gravilla chancada 3/8"

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco



Nº de ensayo	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra S.S.S. "B" (gr)	Peso muestra sumergida "C" (gr)	P.E. Granel (gr/cm³)	P.E. S.S.S. (gr/cm³)	P.E. Aparente (gr/cm³)	% de Absorción
1,00	2953,10	3000,00	1869,00	2,611	2,653	2,724	1,588
2,00	2952,90	3000,00	1868,50	2,610	2,651	2,723	1,595
3,00	2949,70	3000,00	1868,00	2,606	2,650	2,727	1,705
Promedio				2,61	2,65	2,72	1,63

.....  
Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....  
Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**

	<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b> <b>"Con Ética y Responsabilidad Social"</b>	
<b>ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO</b>		
Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático		
Procedencia: Posta Municipal (Tarija)		Fecha: 12/07/23
Identif. Ligante: Cemento Asfáltico 85!100		Laboratorista: Ruben Nelson Chambi Paco

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso picnómetro	gr	34,9	35,7	33,6
Peso picnómetro + agua (25 °C)	gr	86,3	86,1	84,9
Peso picnómetro + muestra	gr	65,2	67,5	61,6
Peso picnómetro + agua + muestra	gr	87,1	86,7	85,4
Peso específico	gr/cm <sup>3</sup>	1,024	1,016	1,015
<b>Promedio</b>	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1,019</b>		

ESPECIFICACIONES	
Mínimo	Máximo
1	1,05

.....

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....

Ing. Avila Sandoval Seila Claudia

**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

"Con Ética y Responsabilidad Social"

## PESO UNITARIO - POLVO DE NEUMÁTICO (POLÍMERO)

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico  
adicionando polvo de neumático

Procedencia: Ingoqui (Cochabamba)

Fecha: 28/06/2023

Identif. Muestra: Polvo de neumático

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

### Peso unitario suelto

Ensayo N°	Peso del molde (gr)	Calibración			Peso molde + muestra suelta (gr)	Peso de muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm³)
		Altura del molde (cm)	Diámetro del molde (cm)	Volumen del molde (cm³)			
1	2600,00	16,50	15,20	2994,06	3753,60	1153,60	0,385
2	2600,00	16,50	15,20	2994,06	3750,60	1150,60	0,384
3	2600,00	16,50	15,20	2994,06	3756,80	1156,80	0,386
Promedio							0,385

### Peso unitario compactado

Ensayo N°	Peso del molde (gr)	Calibración			Peso molde + muestra compactada (gr)	Peso de muestra suelta (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm³)
		Altura del molde (cm)	Diámetro del molde (cm)	Volumen del molde (cm³)			
1	2600,00	16,50	15,20	2994,06	3968,70	1368,70	0,457
2	2600,00	16,50	15,20	2994,06	3971,40	1371,40	0,458
3	2600,00	16,50	15,20	2994,06	3965,60	1365,60	0,456
Promedio							0,457

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES**

**Y RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

"Con Ética y Responsabilidad Social"

## PESO UNITARIO - AGREGADO GRUESO (GRAVA)

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático

Procedencia: Posta Municipal (Tarija)

Fecha: 23/06/2023

Identif. Muestra: Grava chancada 3/4"

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

### Peso unitario suelto

Ensayo N°	Peso del molde (gr)	Calibración			Peso molde + muestra suelta (gr)	Peso de muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm³)
		Altura del molde (cm)	Diámetro del molde (cm)	Volumen del molde (cm³)			
1	5830,00	28,00	21,30	9977,16	20960,00	15130,00	1,516
2	5830,00	28,00	21,30	9977,16	20940,00	15110,00	1,514
3	5830,00	28,00	21,30	9977,16	20950,00	15120,00	1,515
Promedio							1,52

### Peso unitario compactado

Ensayo N°	Peso del molde (gr)	Calibración			Peso molde + muestra compactada (gr)	Peso de muestra suelta (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm³)
		Altura del molde (cm)	Diámetro del molde (cm)	Volumen del molde (cm³)			
1	5830,00	28,00	21,30	9977,16	21525,00	15695,00	1,573
2	5830,00	28,00	21,30	9977,16	21490,00	15660,00	1,570
3	5830,00	28,00	21,30	9977,16	21585,00	15755,00	1,579
Promedio							1,57

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

"Con Ética y Responsabilidad Social"

## PESO UNITARIO - AGREGADO GRUESO (GRAVILLA)

Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático

Procedencia: Posta Municipal (Tarija)

Fecha: 23/06/2023

Identif. Muestra: Gravilla chancada 3/8"

Laboratorista: Ruben N. Chambi Paco

### Peso unitario suelto

Ensayo N°	Peso del molde (gr)	Calibración			Peso molde + muestra suelta (gr)	Peso de muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm³)
		Altura del molde (cm)	Diámetro del molde (cm)	Volumen del molde (cm³)			
1	5830,00	28,00	21,30	9977,16	20720,00	14890,00	1,492
2	5830,00	28,00	21,30	9977,16	20720,00	14890,00	1,492
3	5830,00	28,00	21,30	9977,16	20700,00	14870,00	1,490
Promedio							1,49

### Peso unitario compactado



Ensayo N°	Peso del molde (gr)	Calibración			Peso molde + muestra compactada (gr)	Peso de muestra suelta (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm³)
		Altura del molde (cm)	Diámetro del molde (cm)	Volumen del molde (cm³)			
1	5830,00	28,00	21,30	9977,16	21350,00	15520,00	1,556
2	5830,00	28,00	21,30	9977,16	21335,00	15505,00	1,554
3	5830,00	28,00	21,30	9977,16	21370,00	15540,00	1,558
Promedio							1,56

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Díaz Ayarde Moisés Eduardo

**RESP. DEL LABORATORIO DE HORMIGONES  
Y RESISTENCIA DE MATERIALES**

	<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b> <b>"Con Ética y Responsabilidad Social"</b>	
<b>ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO</b>		
Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático		
Procedencia: Posta Municipal (Tarija) - Ingoqui (Cbba)      Fecha: 02/09/2024 Identif. Ligante: C.A. 85!100 modificado con P.N.      Laboratorista: Ruben Nelson Chambi Paco		

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de ablandamiento AASHTO T53-96	°C	54	55	52
Ablandamiento promedio		53,67		

ESPECIFICACIONES
≥ 53

.....  
Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....  
Ing. Avila Sandoval Seila Claudia

**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**

	<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b> <b>"Con Ética y Responsabilidad Social"</b>	
<b>ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO</b>		
Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático		
Procedencia: Posta Municipal (Tarija)		Fecha: 05/07/2023
Identif. Ligante: Cemento Asfáltico 85!100		Laboratorista: Ruben Nelson Chambi Paco

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de ablandamiento AASHTO T53-96	°C	47	48	45
Ablandamiento promedio		46,67		

ESPECIFICACIONES	
Mínimo	Máximo
43	53

.....

Chambi Paco Ruben Nelson



**LABORATORISTA**

.....

Ing. Avila Sandoval Seila Claudia

**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**




	<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAE SARACHO"</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b> <b>"Con Ética y Responsabilidad Social"</b>	
<b>ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN</b>		
Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático		
Procedencia: Posta Municipal (Tarija) - Ingoqui (Cbba)      Fecha: 29/08/2024 Identif. Ligante: C.A. 85!100 modificado con P.N.      Laboratorista: Ruben Nelson Chambi Paco		

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de inflamación AASHTO T79-96	°C	277	274	278
Inflamación promedio		276,33		

ESPECIFICACIONES
≥ 235

.....  
 Chambi Paco Ruben Nelson  
**LABORATORISTA**

.....  
 Ing. Avila Sandoval Seila Claudia  
**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**

	<p align="center"> <b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b>  <b>"Con Ética y Responsabilidad Social"</b> </p>	
<p align="center"><b>ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN</b></p>		
<p align="center">Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático</p>		
<p>             Procedencia: Posta Municipal (Tarja) <span style="float: right;">Fecha: 29/06/2023</span>              Identif. Ligante: Cemento Asfáltico 85!100 <span style="float: right;">Laboratorista: Ruben Nelson Chambi Paco</span> </p>		

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de inflamación AASHTO T79-96	°C	287	281	284
Inflamación promedio		284,00		

ESPECIFICACIONES	
Mínimo	Máximo
232	-

.....



Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....

Ing. Avila Sandoval Seila Claudia

**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**

	<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAE SARACHO"</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b> <b>"Con Ética y Responsabilidad Social"</b>	
<b>ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA</b>		
Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático		
Procedencia: Posta Municipal (Tarija) - Ingoqui (Cbba)      Fecha: 04/09/2024 Identif. Ligante: C.A. 85!100 modificado con P.N.      Laboratorista: Ruben Nelson Chambi Paco		

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Recuperación elástica AASHTO T301-99	%	40	47,5	42,5
Recuperación elástica promedio		43,33		

ESPECIFICACIONES
$\geq 10$

.....

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....

Ing. Avila Sandoval Seila Claudia

**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**

	<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b> <b>"Con Ética y Responsabilidad Social"</b>	
<b>ENSAYO DE VIALIT CON ASFALTO CONVENCIONAL</b>		
Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático		
Procedencia: Posta Municipal (Tarija)	Fecha: 08/10/2024	
Identif. Ligante: Cemento Asfáltico 85!100	Laboratorista: Ruben Nelson Chambi Paco	

Dosificación para el ensayo de Vialit con "asfalto" convencional

Tratamiento superficial convencional		Cantidad de agregado utilizado (100 partículas) según el tipo de granulometría	
Material	Asfalto (gr/m²)	Agregado B (gr)	Agregado D (gr/m²)
1a aplicación	65,52	433,50	-
2a aplicación	50,40	-	30,20
1a aplicación	65,52	438,60	-
2a aplicación	50,40	-	30,00
1a aplicación	65,52	435,80	-
2a aplicación	50,40	-	31,60

N° de muestra	Porcentaje de desprendimiento del agregado				
	Primera capa		Segunda capa		Total
	gr	%	gr	%	%
1	13,0	3,00	1,0	3,31	6,31
2	11,8	2,69	0,9	3,00	5,69
3	12,7	2,91	1,1	3,48	6,40
Media	12,50	2,87	1,00	3,26	6,13
Total	%	100			93,87
	%	6.13			

.....  
Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....  
Ing. Avila Sandoval Seila Claudia

**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**

	<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b> "Con Ética y Responsabilidad Social"	
<b>ENSAYO DE VIALIT CON ASFALTO MODIFICADO</b>		
Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático		
Procedencia: Posta Municipal (Tarija) - Ingoqui (Cbba)		Fecha: 11/10/2024
Identif. Ligante: C.A. 85!100 modificado con P.N.		Laboratorista: Ruben Nelson Chambi Paco

Dosificación para el ensayo de Vialit cqp"ashanq"modificado

Tratamiento superficial modificado		Cantidad de agregado utilizado (100 particulas) según el tipo de granulometría	
Material	Asfalto (gr/m²)	Agregado B (gr)	Agregado D (gr/m²)
1a aplicación	65,52	436,00	-
2a aplicación	50,40	-	28,50
1a aplicación	65,52	443,00	-
2a aplicación	50,40	-	31,10
1a aplicación	65,52	434,70	-
2a aplicación	50,40	-	30,40



N° de muestra	Porcentaje de desprendimiento del agregado				
	Primera capa		Segunda capa		Total
	gr	%	gr	%	%
1	10,9	2,50	0,7	2,46	4,96
2	10,4	2,35	0,0	0,00	2,35
3	11,2	2,58	0,4	1,32	3,89
Media	10,83	2,47	4,00	1,26	3,73
Total	%	100			96,27
	%	3,73			

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Avila Sandoval Seila Claudia

**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**

	<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b> <b>"Con Ética y Responsabilidad Social"</b>	
<b>ENSAYO DE VISCOSIDAD</b>		
Proyecto: Evaluación de una mezcla asfáltica para un tratamiento superficial de bajo tráfico adicionando polvo de neumático		
Procedencia: Posta Municipal (Tarija)		Fecha: 13/07/23
Identif. Ligante: Cemento Asfáltico 85!100		Laboratorista: Ruben Nelson Chambi Paco

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C AASHTO T201-01	seg	97	93	102
Viscosidad promedio		97,33		

ESPECIFICACIONES	
Mínimo	Máximo
85	400

.....



Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

.....

Ing. Avila Sandoval Seila Claudia

**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**

	<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b>	
PROYECTO:	“EVALUACIÓN DE UN CONCRETO EN CEMENTO PORTLAND PARA UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE CONVENCIONAL”	

**PLANILLA PARA LA ESTABILIDAD Y FLUENCIA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PARA UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE CONVENCIONAL**

<b>Tipo de cemento asfáltico:</b>	Convencional 85/100
Número de golpes	50
Radio del molde (cm)	5,230



N° de brique	Denominación	% de los Materiales		Altura de brique	Peso Brique	Volumen	Densidad Brique		Estabilidad Marshall			Fluencia	
		Ligante asfáltico	Agregado total		P. seco	probeta	densidad real	Densidad promedio	lectura del dial	Estabilidad	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
		%	%		grs	cm³	grs/cm³	grs/cm³	mm	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	1A	5,85	94,15	2,18	335,0	187,3	1,788	1,831	392	1037,356	988,35	9	10,40
2	1B			2,15	340,7	184,8	1,844		320	843,475		12	
3	1C			2,18	341,8	187,3	1,825		366	967,344		10	
4	1D			2,15	344,4	184,8	1,864		403	1066,977		11	
5	1E			2,14	337,4	183,9	1,835		388	1026,585		10	
1	2A	5,96	94,04	2,16	346,6	185,6	1,867	1,839	369	975,422	1016,89	11	10,60
2	2B			2,20	344,2	189,0	1,821		382	1010,428		10	
3	2C			2,19	343,9	188,2	1,827		408	1080,441		8	
4	2D			2,14	341,0	183,9	1,854		385	1018,507		12	
5	2E			2,17	340,8	186,5	1,828		378	999,657		12	
1	3A	5,; 7	94,03	2,18	342,6	187,3	1,829	1,845	387	1023,892	1021,74	11	11,00
2	3B			2,14	345,5	183,9	1,879		371	980,808		10	
3	3C			2,19	345,7	188,2	1,837		445	1180,075		13	
4	3D			2,16	342,6	185,6	1,846		393	1040,049		12	
5	3E			2,19	345,4	188,2	1,835		335	883,867		9	
1	4A	5,; 8	94,03	2,15	343,1	184,8	1,857	1,850	401	1061,592	1029,82	12	11,40
2	4B			2,14	344,7	183,9	1,874		396	1048,128		10	
3	4C			2,13	339,3	183,0	1,854		411	1088,520		12	
4	4D			2,12	335,2	182,2	1,840		352	929,644		11	
5	4E			2,17	339,8	186,5	1,822		386	1021,200		12	
1	5A	8,2;	91,77	2,15	342,0	184,8	1,851	1,852	401	1061,592	1029,28	12	12,20
2	5B			2,16	343,7	185,6	1,852		453	1201,617		12	
3	5C			2,17	344,9	186,5	1,850		399	1056,206		10	
4	5D			2,17	344,8	186,5	1,849		284	746,534		15	
5	5E			2,16	345,4	185,6	1,861		408	1080,441		12	
1	6A	6,42	93,58	2,18	345,8	187,3	1,846	1,843	366	967,344	1021,74	12	14,00
2	6B			2,13	338,3	183,0	1,848		362	956,572		15	
3	6C			2,20	343,8	189,0	1,819		437	1158,532		16	
4	6D			2,19	347,5	188,2	1,847		417	1104,676		14	
5	6E			2,15	343,2	184,8	1,858		349	921,566		13	

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Avila Sandoval Seila Claudia

**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**

	<p align="center"><b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"</b></p> <p align="center"><b>FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b></p> <p align="center"><b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b></p> <p align="center"><b>LABORATORIO DE ASFALTOS</b></p>	
<b>PROYECTO:</b>	<p align="center">“EVALUACIÓN DE UNC'O G\ ENC'CUHf NTKEC'RCTC'WP 'TTCTCO KGP TQ" UWRGTHKEKCN'F G'DCIQ'TTf HKEQ'CF KEQP CPF Q'RQNXQ'F G'P GWO f TKEQ”</p>	

**PLANILLA PARA LA ESTABILIDAD Y FLUENCIA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PARA UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE MODIFICADO**

<b>Tipo de cemento asfáltico:</b>	C.A. 85/100 Modificado
Número de golpes	50
Radio del molde (cm)	5,230

N° de briqueta	Denominación	% de los Materiales		Alura de briqueta	Peso Briqueta	Vo lumen	Densidad Briqueta		Estabilidad Marshall			Fluencia	
		Ligante asfáltico	Agregado total		P. seco	probeta	densidad real	Densidad promedio	lectura del dial	Estabilidad	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
		%	%		grs	cm³	grs/cm³	grs/cm³	mm	libras	libras	0,01pulg	0,01pulg
1	1A			2,12	333,1	182,2	1828		483	1282,401		9	
2	1B			2,12	338,2	182,2	1856		470	1247,395		11	
3	1C	5,85	94,15	2,13	337,2	183,0	1842	1,848	493	1309,329	127,163	8	9,80
4	1D			2,13	337,4	183,0	1843		484	1285,094		10	
5	1E			2,12	340,7	182,2	1870		465	1233,931		11	
1	2A			2,13	339,3	183,0	1854		426	1128,912		13	
2	2B			2,10	339,1	180,5	1879	1,882	502	1333,564		9	
3	2C	5,96	94,04	2,07	341,6	177,9	1920		498	1322,793	1295,87	10	10,20
4	2D			2,12	340,5	182,2	1869		525	1395,499		8	
5	2E			2,11	342,4	181,3	1888		489	1298,558		11	
1	3A			2,11	344,7	181,3	1901		465	1233,931		12	
2	3B			2,10	341,2	180,5	1891	1,893	509	1352,444		10	
3	3C	5,7	94,3	2,08	337,9	178,7	1890		531	1411,656	1303,40	9	10,60
4	3D			2,06	339,5	177,0	1918		523	1390,113		9	
5	3E			2,12	339,7	182,2	1865		426	1128,912		13	
1	4A			2,09	343,5	179,6	1913		507	1347,028		11	
2	4B			2,08	335,2	178,7	1875	1,897	524	1392,806		10	
3	4C	5,8	94,2	2,09	335,9	179,6	1870		458	1215,081	1313,64	12	11,20
4	4D			2,07	343,0	177,9	1928		469	1244,702		13	
5	4E			2,08	339,4	178,7	1899		515	1368,571		10	
1	5A			2,08	343,3	178,7	1921		501	1330,872		12	
2	5B			2,09	343,8	179,6	1914	1,910	537	1427,812		9	
3	5C	8,2	91,8	2,06	338,7	177,0	1913		511	1357,800	1305,56	11	11,40
4	5D			2,08	341,5	178,7	1911		390	1031,971		15	
5	5E			2,10	341,7	180,5	1894		519	1379,342		10	
1	6A			2,12	345,5	182,2	1897		506	1344,336		11	
2	6B			2,09	341,2	179,6	1900	1,904	471	1250,088		14	
3	6C	6,42	93,58	2,10	341,0	180,5	1890		482	1279,708	1294,25	15	12,60
4	6D			2,11	343,3	181,3	1893		516	1371,264		10	
5	6E			2,06	343,8	177,0	1942		462	1225,852		13	

Chambi Paco Ruben Nelson

**LABORATORISTA**

Ing. Avila Sandoval Seila Claudia

**RESP. DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**



**ANEXO V**  
**CARTAS DE SOLICITUD**

Tarija, 22 de septiembre de 2023

Señor

Ing. Marcelo Zenteno

**DIRECTOR DE OBRAS PÚBLICAS DEL GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE  
CERCADO**

**REF.: SOLICITUD DE PROVISIÓN DE MATERIAL DE CEMENTO  
ASFALTICO Y AGREGADO**



De mi mayor consideración.

Mediante la presente, solicito muy encarecidamente a usted la provisión de cemento asfáltico 85/100, en una cantidad de 15 kilos y agregados pétreos (grava, gravilla y arena) en una cantidad de 80 kilos, material que será usado en mi proyecto de grado titulado: **“EVALUACIÓN DE UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL ADICIONANDO POLVO DE NEUMÁTICOS EN TRAMOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁFICO”**, prácticas de ensayo que serán realizados en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de Tarija.

Agradeciendo su comprensión y aceptación, saludo a usted con las consideraciones más distinguidas y de respecto.

Atentamente:

-----  
*[Signature]*

Univ: Chambi Paco Ruben Nelson

C.I.: 10631779 Tja.

Cel.: 73319555

*VºB*

*[Signature]*  
M.Sc. Ing. Mario L. Tizon C.  
DIRECTOR  
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA  
Y VIAS DE COMUNICACION  
CARRERA ING. CIVIL - U.A.J.M.S.

Tarija 12 de abril de 2023

Señor

Ing. Mostajo Rojas Victor Francisco

**ENCARGADO DEL DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS DE LA U.A.J.M.S.**

Señor

Ing. Diaz Ayarde Moises Eduardo

**ENCARGADO DEL LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL HORMIGON DE LA U.A.J.M.S.**

Presente.-

**REF: SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA EL USO DE EQUIPOS DEL LABORATORIO**

Mediante la presente solicito pueda autorizarme el uso de los distintos equipos que serán necesarios para realizar ensayos y desarrollar el proyecto de grado titulado: "EVALUACIÓN DE UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL ADICIONANDO POLVO DE NEUMATICOS EN TRAMOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁFICO".

ENSAYOS: GRANULOMETRIA DE AGREGADOS, DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ANGELES, PESO ESPECIFICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS, PESO UNITARIO, EQUIVALENTE DE ARENA, PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS.

Esperando su autorización para llevar a cabo los ensayos correspondientes, me despido en espera de una pronta respuesta.

-----  


Univ: Chambi Paco Ruben Nelson

C.I.: 10631779 Tja.

RU: 97371

-----  


Docente Guía: Ing. Soto Salgado

Laura Karina



Tarija, 29 de junio de 2023

Señor

Ing. Mario Luis Ticona Copa

**DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VIAS DE  
COMUNICACIÓN - U.A.J.M.S.**

Presente.-

**REF.: SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA EL USO DE EQUIPOS  
DEL LABORATORIO DE ASFALTOS**

Señor Director:

Mediante la presente solicito pueda autorizarme el uso de los equipos del laboratorio de asfaltos, para realizar ensayos de mi proyecto de grado titulado: "EVALUACIÓN DE UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL ADICIONANDO POLVO DE NEUMÁTICOS EN TRAMOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁFICO".

Con este motivo, saludo a usted muy atentamente.

-----  


Univ: Ruben Nelson Chambi Paco

C.I.: 10631779 Tja.

RU: 97371

*Tarija, 29 de junio de 2023  
Señor  
Ing. Seila C. Avila S.  
Coordinador actividades  
de la solicitud adjunta  
Atte.*


  
M.Sc. Ing. Mario L. Ticona C.  
DIRECTOR  
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA  
Y VIAS DE COMUNICACION  
CARRERA ING. CIVIL - U.A.J.M.S.

**ANEXO VI**

**FICHA TÉCNICA DEL ASFALTO**

**85-100 Y POLVO DE NEUMÁTICO**



	<b>ROBLEPATT</b>			
	<b>CONSULTORA - CONSTRUCCIÓN</b>			
	Control de Calidad en Obras Civiles - Laboratorio de Suelos, Asfaltos y Hormigones			
	<b>PROYECTO: ADQUISICIÓN DE CEMENTO ASFALTICO 85/100 CONSTRUCCIÓN ASFALTADO DE VÍAS DISTRITO 13 ZONA ALTA SUDOESTE, DISTRITO 8 ZONA NORESTE, DISTRITO 6 ZONA NOROESTE, DISTRITO 12 ZONA SUDOESTE, DISTRITO 7 ZONA NORTE, DISTRITO 10 ZONA SUD Y DISTRITO 9 ZONA ESTE</b>			

CUCE: 23-1601-00-1374670-1-1

**ENSAYOS AL CEMENTO ASFÁLTICO (AASHTO M - 20)**

Laboratorio Suelos y Materiales Form. CA-060	Material	Cemento Asfáltico	Destino	N° Ensayo
	Muestra N°	1	Lote N°	200
	Origen	REPSOL	Cantidad (Ton.)	50

CLIENTE: GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE TARIJA

**MUESTRA ORIGINAL**

ENSAYO	ASTM	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Resultado Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Punto de Inflamación Vaso Abierto AASHTO T 48	D 92	°C.	275,0	253,0	264,0	232,0	
Ductilidad a 25° C. AASHTO T 51	D - 113	cm.	110,0	111,0	110,5	100,0	
Penetración a 25°, AASHTO T 49	D-5	mm.	92,0	100,0	96,0	85,0	100
Ensayo De La Mancha (Nafte/ Xileno 20%) AASHTO T 102			Negativo			Negativo	
Solubilidad AASHTO T 44	D - 2042	%	99,7	99,2	99,4	99,0	
% de H2O AASHTO T 55		%	0,0	0,0	0,0		0,2
Punto de Ablandamiento AASHTO T-53	D - 36	°C.	51,0	53,0	52,0	43,0	53

**ENSAYO PELICULA DELGADA AASHTO T 179**


ENSAYO		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Peso Especifico AASHTO T 229	D - 70						
Peso Picnómetro		Grs.	50,82	57,42			
Picnómetro+Agua (25°C)		Grs.	63,46	76,99			
Picnómetro+Muestra		Grs.	69,16	76,81			
Peso Picnómetro+Agua+Muestra		cc.	18,72	77,66			
Peso Especifico		Grs./cm3	1,032	1,036	1,034	1,000	1,050
Peso antes del ensayo		grs.	30,40	21,60			
Peso después del ensayo		grs.	30,31	21,59			
Peso Tara		grs.	19,00	18,00			
Pérdida de peso		grs.	0,09	0,01			
Pérdida de masa AASHTO T-179	D - 1765	%	0,76	0,24	0,50		1,0
Ductilidad a 25° C. AASHTO T 51	D - 113	cm.	94	94		75	
Penetración a 25°, (% Del Original) AASHTO T 49	D-5	mm.	64	70	67,2	50%	
Viscosidad Saybolt 135° C. AASHTO T 72	D - 88	seg.	109	104	107	85	
Viscosidad Cinematica 135° C. mm2/s cst AASHTO T 201	D - 4402	seg.	495,5	472,7	484	250,0	


Observaciones:

MUESTRA PROPORCIONADA POR ASOCIACIÓN ACCIDENTAL ASFALTOS DEL SUR

FECHA DE MUESTREO: lunes, 11 de diciembre de 2023

  
 Ing. Erick Daniel Robledo P.  
**JEFE DE CONTROL DE CALIDAD**

  
 Ing. Ricardo González Velázquez  
 TÉCNICO ASFALTO Y HORMIGONES  
 ENTIDAD DE OBRAS PÚBLICAS MUNICIPALES


 Erick D. Robledo Pattzi  
 INGENIERO CIVIL  
 R.N.I. 52.616  
 SOCIEDAD DE INGENIEROS DE TARIJA





## FICHA TÉCNICA

### PRODUCTO: POLVO DE NEUMÁTICO

**Descripción del producto.-**

Polvo fino de caucho libre de impurezas. Insumo de calidad para la fabricación de productos de goma y asfalto en carreteras.

**Análisis del producto.-**

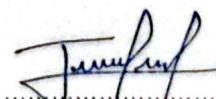
- Descripción.- Polvo de neumático.
- Densidad aparente.- 0,3 – 0,5 gr/cm<sup>3</sup>.
- Forma física.- Polvo de forma irregular.
- Rango de dimensión.- < 1mm.



**Presentación.-** Saquillo de 40 Kg.

**Usos.-**

- Aditivo para carreteras(asfalto).
- Pisos de goma.
- Productos valorizados de goma.
- Repuestos de goma para autos.

  
IVAN QUIROZ  
Gerente General  
**INGOQUI**  
Productos e insumos de caucho reciclado  
Cel: 63348104 - 72204210

Camino antiguo a Oruro Km 19 (Vinto) ----- Cochabamba-Bolivia