

Anexo 1

Caracterización de los agregados y cemento asfáltico

1 Granulometría ASTM E 40 AASHTO T27 - 99

El ensayo de granulometría tiene por objetivo a conocer la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido.

Procedimiento

Para definir la curva granulométrica se procede al cuarteo mecánico de las muestras secas al horno por 24 hr para eliminar cualquier rastro de humedad y que influya en el peso real, tomando de esta una muestra representativa de 5 kg para cada ensayo.

Se realizó para cada uno de los agregados: arena, grava y gavilla un número de ensayos equivalentes 3 unidades con la finalidad de conocer el comportamiento y hacer la respectiva elección de una curva granulométrica representativa.

Se hace pasar la muestra por una serie de tamices ordenada su abertura de mayor a menor y se agita vigorosamente en un determinado tiempo en que las partículas dejen de traspasar la abertura de la malla para finalmente anotar el peso retenido en cada tamiz que nos da como resultado los porcentajes de distribución pertenecientes a la muestra.

Tamaños nominales

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

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras - Manual de ensayos de suelos y materiales * Asfaltos

Datos

Tipo de agregado

- Arena

Datos para ensayo granulométrico - arena

Peso total (gr)		5000		
Tamices	Tamaño (mm)	Muestra N° 1	Muestra N° 2	Muestra N° 3
		Peso ret.	Peso ret.	Peso ret.
1/2	12.5	0.00	0.00	0.00
3/8	9.50	0.00	0.00	0.00
N°4	4.75	4.50	2.50	3.50
N°8	2.36	930.50	793.50	776.00
N°10	2.00	302.50	305.50	294.00
N°16	1.18	934.00	895.00	895.00
N°30	0.60	969.50	974.00	1039.50
N°50	0.30	773.00	834.50	853.00
N°100	0.15	465.50	544.50	502.00
N°200	0.075	295.50	349.00	328.00
Base	-	325.00	301.50	309.00
Suma		5000.0	5000.0	5000.0
Pérdidas		0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

- Gravilla

Datos para ensayo granulométrico - gravilla

Peso total (gr)		5000		
Tamices	Tamaño (mm)	Muestra N° 1	Muestra N° 2	Muestra N° 3
		Peso ret.	Peso ret.	Peso ret.
1"	25.4	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00
3/8"	9.50	60.40	48.30	42.50
N°4	4.75	4193.50	4106.30	4134.70
N°8	2.36	729.70	828.70	806.70
Base	-	16.40	16.70	16.10
Suma		5000.00	5000.00	5000.00
Pérdidas		0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tipo de agregado

- Grava

Datos para ensayo granulométrico - grava

Peso total (gr.)		5000		
Tamices	Tamaño (mm)	Muestra N° 1	Muestra N° 2	Muestra N° 3
		Peso ret.	Peso ret.	Peso ret.
1"	25.4	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.00	36.00	28.00	70.00
1/2"	12.50	2364.00	2239.00	2146.00
3/8"	9.50	1736.00	1938.00	1939.00
N°4	4.75	859.00	790.00	840.00
N°8	2.36	0.00	0.00	0.00
N°16	1.18	0.00	0.00	0.00
N°30	0.60	0.00	0.00	0.00
N°50	0.30	0.00	0.00	0.00
N°100	0.150	0.00	0.00	0.00
N°200	0.075	0.00	0.00	0.00
Base	-	5.00	5.00	5.00
Suma		5000.00	5000.00	5000.00
Pérdidas		0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Proceso de calculo

Retenido acumulado = retenido + retenido acumulado A - 1

Retenido acumulado N°4 = 4.50 + 0 = 4.50 gr

Retenido acumulado N°8 = 4.50 + 930.50 = 935.00 gr

Retenido acumulado N°10 = 935.00 + 302.50 = 1237.50 gr

Retenido acumulado N°16 = 1237.50 + 934.00 = 2171.50 gr

Retenido acumulado N°30 = 2171.50 + 969.50 = 3141.00 gr

Retenido acumulado N°50 = 3141.00 + 773.00 = 3914.00 gr

Retenido acumulado N°100 = 465.50 + 3914.00 = 4379.50 gr

Retenido acumulado N°200 = 295.50 + 4379.50 = 4675.00 gr

Retenido acumulado base = 295.50 + 4675.00 = 5000 gr

$$\% \text{ Retenido acumulado} = \frac{\text{Retenido acumulado} * 100}{\text{Muestra total}}$$

Muestra total = 5000 gr

$$\% \text{ Retenido acumulado N}^\circ 4 = \frac{4.50 * 100}{5000} = 0.09 \%$$

$$\% \text{ Retenido acumulado N}^\circ 8 = \frac{935 * 100}{5000} = 18.70 \%$$

$$\% \text{ Retenido acumulado N}^\circ 10 = \frac{1237.50 * 100}{5000} = 24.75 \%$$

$$\% \text{ Retenido acumulado N}^\circ 16 = \frac{2171.50 * 100}{5000} = 43.43 \%$$

$$\% \text{ Retenido acumulado N}^\circ 30 = \frac{3141.00 * 100}{5000} = 62.82 \%$$

$$\% \text{ Retenido acumulado N}^\circ 50 = \frac{3914.00 * 100}{5000} = 78.28 \%$$

$$\% \text{ Retenido acumulado N}^\circ 100 = \frac{4379.50 * 100}{5000} = 87.59 \%$$

$$\% \text{ Retenido acumulado N}^\circ 200 = \frac{4675.00 * 100}{5000} = 93.50 \%$$

$$\% \text{ Retenido acumulado Base} = \frac{5000 * 100}{5000} = 100 \%$$

% Que pasa del total

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

$$\% \text{ Que pasa N}^\circ 4 = 100 \% - 0.09 \% = 99.91 \%$$

$$\% \text{ Que pasa N}^\circ 8 = 100 \% - 18.70 \% = 81.30 \%$$

$$\% \text{ Que pasa N}^\circ 10 = 100 \% - 18.70 \% = 75.25 \%$$

$$\% \text{ Que pasa N}^\circ 16 = 100 \% - 43.43 \% = 56.57 \%$$

% Que pasa N° 30 = 100 % - 62.82 % = 37.18 %

% Que pasa N° 50 = 100 % - 78.28 % = 21.72 %

% Que pasa N° 100 = 100 % - 87.59 % = 12.41 %

% Que pasa N° 200 = 100 % - 93.50 % = 6.50 %

% Que pasa N° Base = 100 % - 100 % = 0.00 %

Resultados

Tipo de agregado

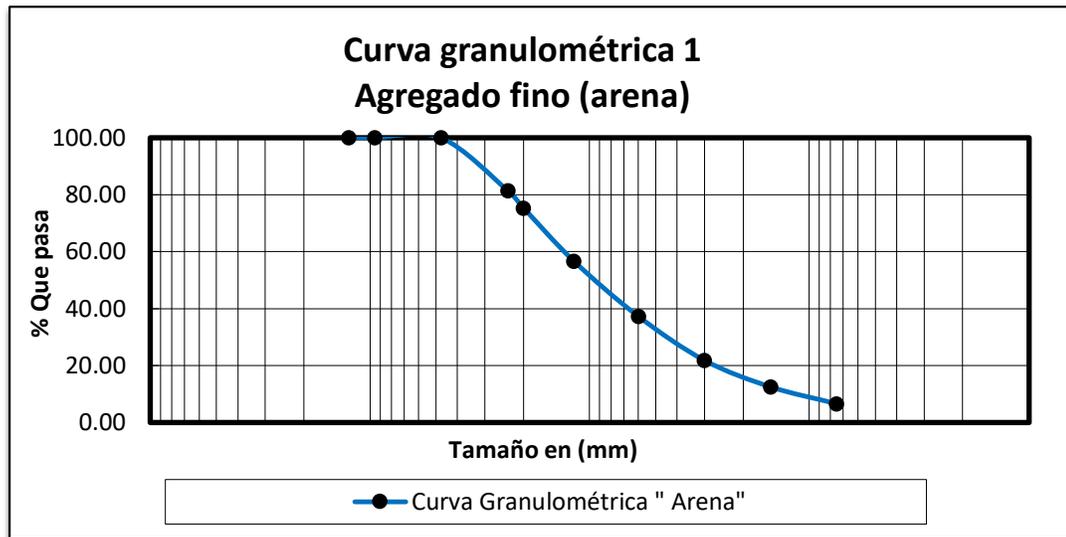
- Arena, muestra N° 1

Resultado de ensayo granulométrico - arena 1

Peso total (gr.)			5000		
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1/2	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	4.50	4.50	0.09	99.91
N°8	2.36	930.50	935.00	18.70	81.30
N°10	2.00	302.50	1237.50	24.75	75.25
N°16	1.18	934.00	2171.50	43.43	56.57
N°30	0.60	969.50	3141.00	62.82	37.18
N°50	0.30	773.00	3914.00	78.28	21.72
N°100	0.15	465.50	4379.50	87.59	12.41
N°200	0.075	295.50	4675.00	93.50	6.50
Base	-	325.00	5000.00	100.00	0.00
Suma		5000.0			
Pérdida		0.0			
MF		4.06			

Fuente: Elaboración propia

Curva granulométrica – arena 1



Fuente: Elaboración propia

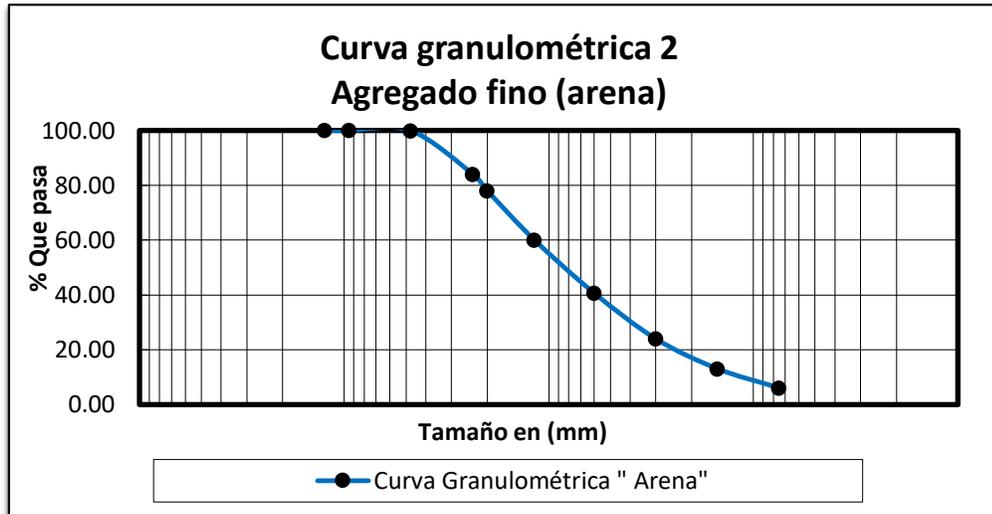
- Arena, muestra N° 2

Resultado de ensayo granulométrico - arena 2

Peso total (gr)			5000		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum.	% Ret.	% Que pasa del total
1/2	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	2.50	2.50	0.05	99.95
N°8	2.36	793.50	796.00	15.92	84.08
N°10	2.00	305.50	1101.50	22.03	77.97
N°16	1.18	895.00	1996.50	39.93	60.07
N°30	0.60	974.00	2970.50	59.41	40.59
N°50	0.30	834.50	3805.00	76.10	23.90
N°100	0.15	544.50	4349.50	86.99	13.01
N°200	0.075	349.00	4698.50	93.97	6.03
BASE	-	301.50	5000.00	100.00	0.00
Suma		5000.0			
Pérdida		0.0			
MF		3.96			

Fuente: Elaboración propia

Curva granulométrica - arena 2



Fuente: Elaboración propia

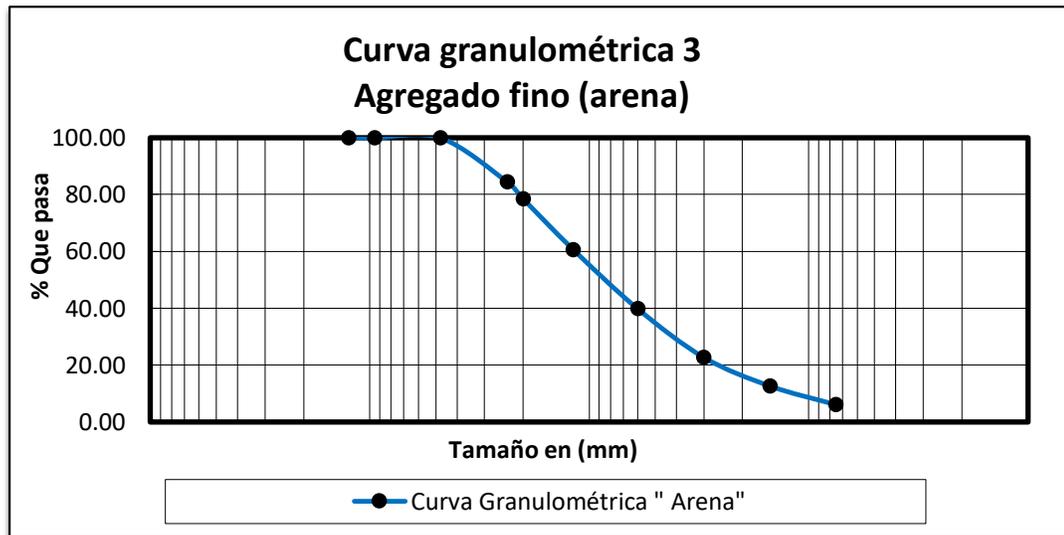
- Arena, muestra N° 3

Resultados de ensayo granulométrico - arena 3

Peso total (gr)			5000		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum.	% Ret.	% Que pasa del total
1/2	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	3.50	3.50	0.07	99.93
N°8	2.36	776.00	779.50	15.59	84.41
N°10	2.00	294.00	1073.50	21.47	78.53
N°16	1.18	895.00	1968.50	39.37	60.63
N°30	0.60	1039.50	3008.00	60.16	39.84
N°50	0.30	853.00	3861.00	77.22	22.78
N°100	0.15	502.00	4363.00	87.26	12.74
N°200	0.075	328.00	4691.00	93.82	6.18
Base	-	309.00	5000.00	100.00	0.00
Suma		5000.0			
Pérdidas		0.0			
MF		3.96			

Fuente: Elaboración propia

Curva granulométrica - arena 3



Fuente: Elaboración propia

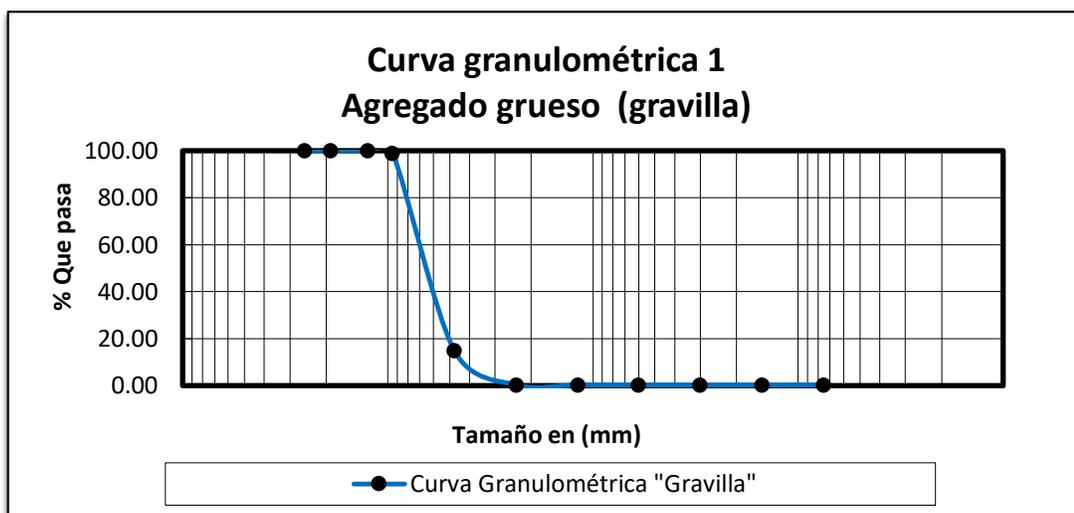
- Gravilla , muestra N° 1

Resultado de ensayo granulométrico - gravilla 1

Peso total (gr.)			5000		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum	% Ret	% Que pasa del total
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	60.40	60.40	1.21	98.79
N°4	4.75	4193.50	4253.90	85.08	14.92
N°8	2.36	729.70	4983.60	99.67	0.33
N°16	1.18	0.00	4983.60	99.67	0.33
N°30	0.60	0.00	4983.60	99.67	0.33
N°50	0.30	0.00	4983.60	99.67	0.33
N°100	0.15	0.00	4983.60	99.67	0.33
N°200	0.075	0.00	4983.60	99.67	0.33
Base	-	16.40	5000.00	100.00	0.00
Suma		5000.0			
Pérdida		0.0			
MF		5.85			

Fuente: Elaboración propia

Curva granulométrica - gravilla 1



Fuente: Elaboración propia

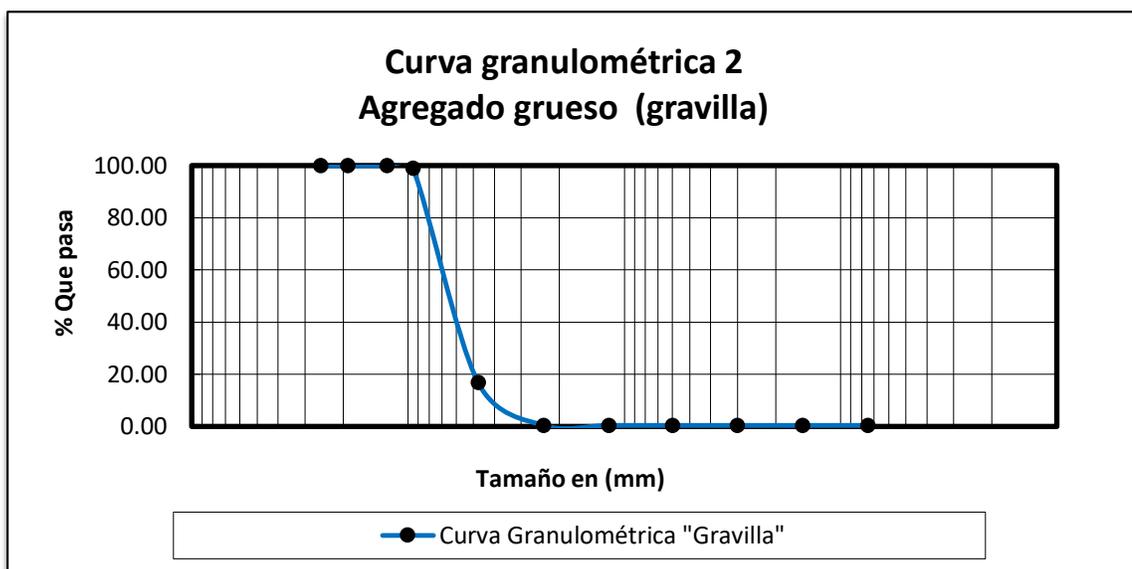
- Gravilla, muestra N° 2

Resultado de ensayo granulométrico - gravilla 2

Peso total (gr.)			5000		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum.	% Ret	% Que pasa del total
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	48.30	48.30	0.97	99.03
N°4	4.75	4106.30	4154.60	83.09	16.91
N°8	2.36	828.70	4983.30	99.67	0.33
N°16	1.18	0.00	4983.30	99.67	0.33
N°30	0.60	0.00	4983.30	99.67	0.33
N°50	0.30	0.00	4983.30	99.67	0.33
N°100	0.15	0.00	4983.30	99.67	0.33
N°200	0.075	0.00	4983.30	99.67	0.33
Base	-	16.70	5000.00	100.00	0.00
	Suma	5000.0			
	Pérdidas	0.0			
	MF	5.82			

Fuente: Elaboración propia

Curva granulométrica - gravilla 2



Fuente: Elaboración propia

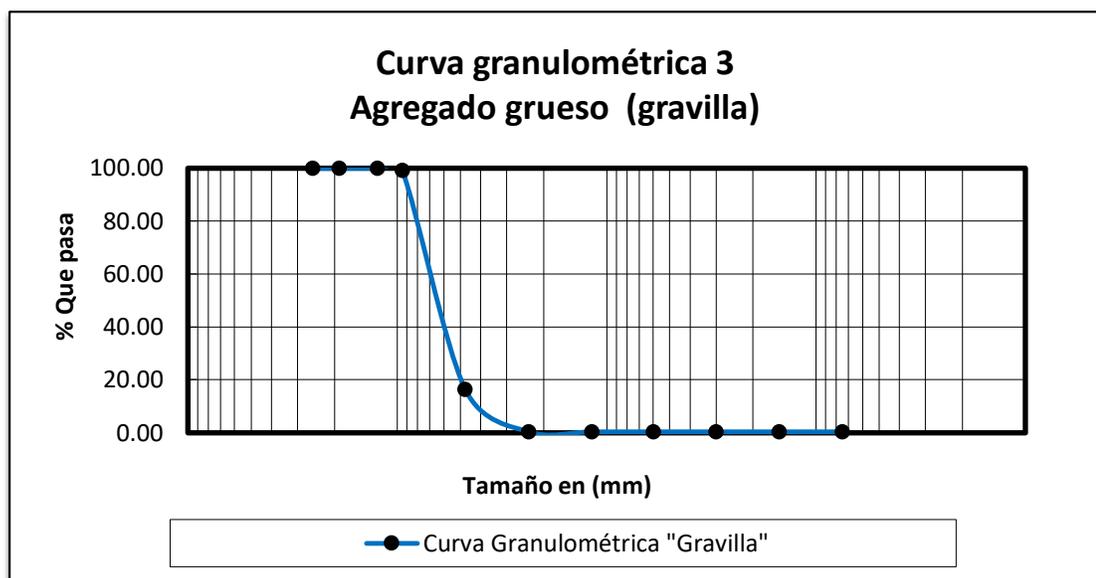
- Gravilla, muestra N° 3

Resultado de ensayo granulométrico - gravilla 3

Peso total (gr)			5000		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum.	% Ret	% Que pasa del total
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	42.50	42.50	0.85	99.15
N°4	4.75	4134.70	4177.20	83.54	16.46
N°8	2.36	806.70	4983.90	99.68	0.32
N°16	1.18	0.00	4983.90	99.68	0.32
N°30	0.60	0.00	4983.90	99.68	0.32
N°50	0.30	0.00	4983.90	99.68	0.32
N°100	0.15	0.00	4983.90	99.68	0.32
N°200	0.075	0.00	4983.90	99.68	0.32
Base	-	16.10	5000.00	100.00	0.00
	Suma	5000.0			
	Pérdida	0.0			
	MF	5.83			

Fuente: Elaboración propia

Curva granulométrica - gravilla 3



Fuente: Elaboración propia

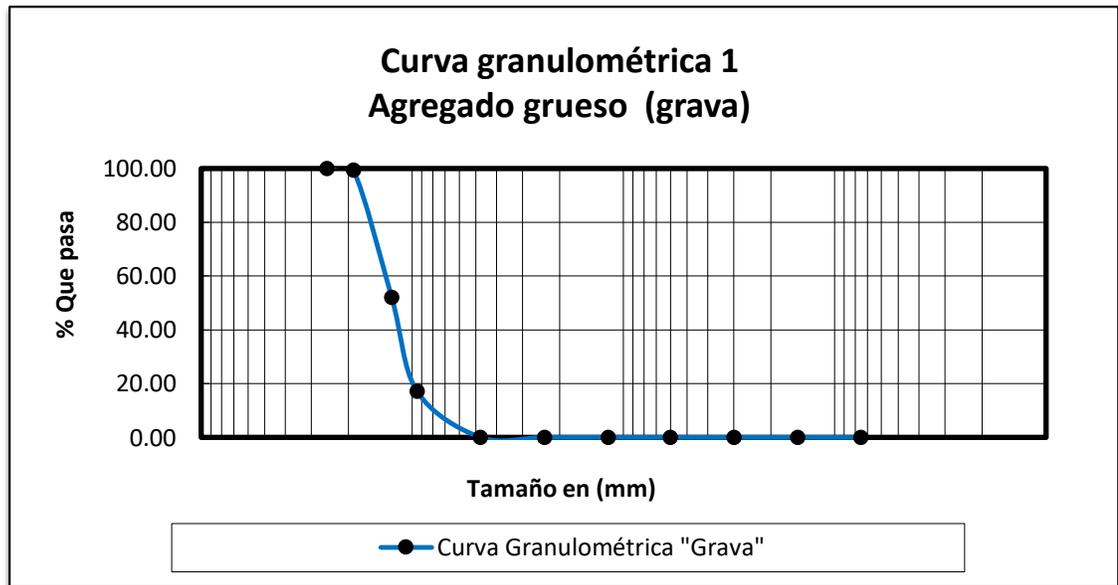
- Grava, muestra N° 1

Resultado granulométrico - grava 1

Peso total (gr)			5000		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum.	% Ret	% Que pasa del total
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	36.00	36.00	0.72	99.28
1/2"	12.5	2364.00	2400.00	48.00	52.00
3/8"	9.50	1736.00	4136.00	82.72	17.28
N°4	4.75	859.00	4995.00	99.90	0.10
N°8	2.36	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°16	1.18	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°30	0.60	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°50	0.30	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°100	0.15	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°200	0.075	0.00	4995.00	99.90	0.10
BASE	-	5.00	5000.00	100.00	0.00
Suma		5000.0			
Pérdida		0.0			
MF		6.82			

Fuente: Elaboración propia

Curva granulométrica - grava 1



Fuente: Elaboración propia

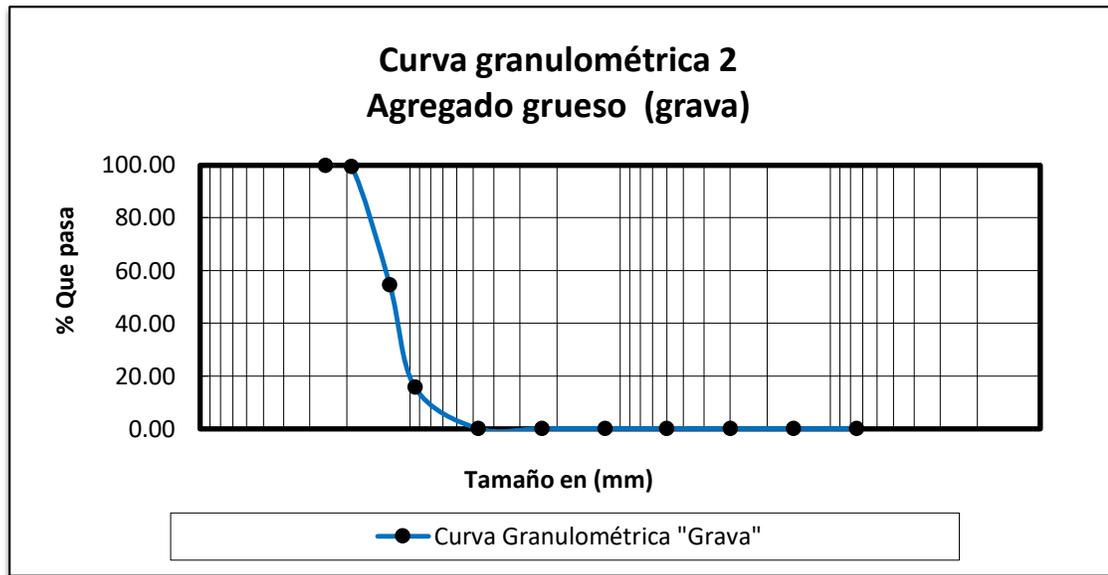
- Grava, muestra N° 2

Resultado granulométrico - grava 2

Peso Total (gr)			5000		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum.	% Ret	% Que pasa del total
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	28.00	28.00	0.56	99.44
1/2"	12.5	2239.00	2267.00	45.34	54.66
3/8"	9.50	1938.00	4205.00	84.10	15.90
N°4	4.75	790.00	4995.00	99.90	0.10
N°8	2.36	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°16	1.18	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°30	0.60	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°50	0.30	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°100	0.15	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°200	0.075	0.00	4995.00	99.90	0.10
BASE	-	5.00	5000.00	100.00	0.00
Suma		5000.0			
Pérdidas		0.0			
MF		6.84			

Fuente: Elaboración propia

Curva granulométrica - grava 2



Fuente: Elaboración propia

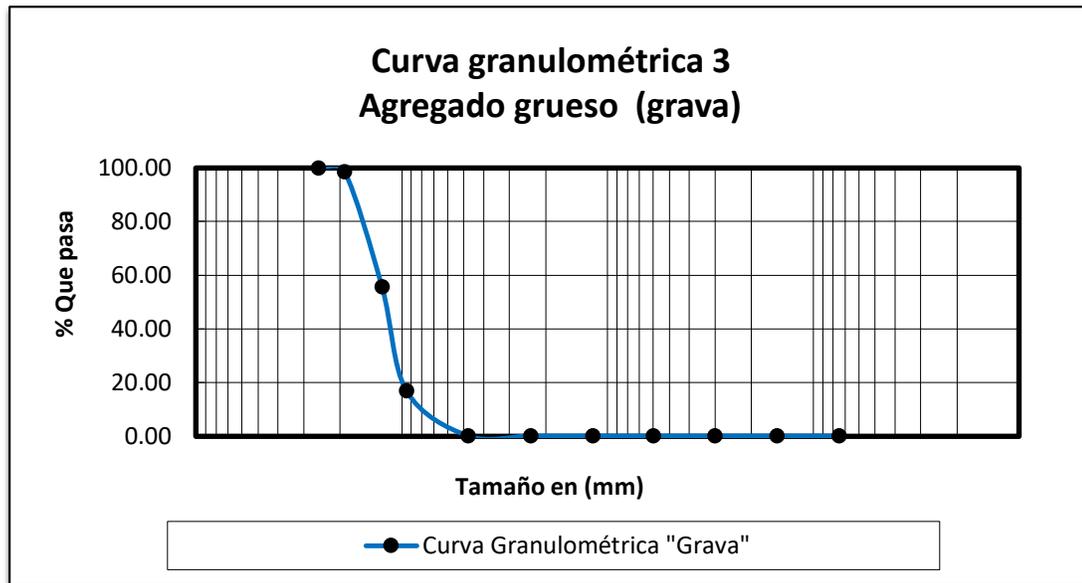
- Grava, muestra N° 3

Resultado granulométrico - grava 3

Peso total (gr)			5000		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% Que pasa del total
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	70.00	70.00	1.40	98.60
1/2"	12.5	2146.00	2216.00	44.32	55.68
3/8"	9.50	1939.00	4155.00	83.10	16.90
N°4	4.75	840.00	4995.00	99.90	0.10
N°8	2.36	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°16	1.18	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°30	0.60	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°50	0.30	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°100	0.15	0.00	4995.00	99.90	0.10
N°200	0.075	0.00	4995.00	99.90	0.10
Base	-	5.00	5000.00	100.00	0.00
Suma		5000.0			
Pérdidas		0.0			
MF		6.83			

Fuente: Elaboración propia

Curva granulométrica - grava 3



Fuente: Elaboración propia

Imagen 1. Cuarteo mecánico y tamizado manual



2 Peso unitario de los agregados ASTM E 30 AASHTO T19M - 00

El peso unitario de los agregados es el resultado de la división de la muestra seca representativa en estado suelto o compactado entre el volumen del molde correspondiente al agregado grueso y fino.

Dimensiones de las medidas

Tamaño Máximo Normal del árido *(mm)	Capacidad Volumétrica		Diámetro Interior (mm)	Altura Interior (mm)	Espesor mínimo del metal	
	m ³	l			Base (mm)	Pared (mm)
16	0,003	3	155 ± 2	160 ± 2	5	2,5
25	0,010	10	205 ± 2	205 ± 2	5	2,5
50	0,015	15	255 ± 2	295 ± 2	5	3,0
100	0,030	30	355 ± 2	305 ± 2	5	3,0

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras - Manual de ensayos de suelos y materiales * Asfaltos

Procedimiento

Para la realización de esta práctica se debe tener muestras representativas de los áridos que deben estar secas al horno por 24 hr para considerarse libres de humedad, que esta puede influir negativamente en los resultados.

Según el tipo de árido, se empleó el tipo de molde correspondiente, en este mismo se realizó la cantidad de 3 ensayos por cada tipo de agregado para conocer el comportamiento que presenta la muestra.

Para el peso unitario suelto se deja caer la muestra de una altura y velocidad constante, llenando la medida total, enrazando y pesando.

Para el peso unitario compactado se deja caer la muestra de una altura y velocidad constante hasta alcanzar 1/3 de la capacidad total de la medida, se procede a compactar de manera vigorosa con la varilla metálica 25 veces. Se continua el llenado hasta que alcance 2/3 de la altura de la medida y nuevamente se procede a compactar de manera vigorosa con la varilla metálica 25 veces solamente la nueva capa, y finalmente se llena hasta el borde para compactar 25 veces la última capa, se enraza y se toma el peso.

Datos

Tipo de agregado

- Arena

Dimensiones internas del molde

Diámetro = 15.3 cm

Altura = 16.5 cm

Datos de arena para peso unitario suelto

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)
1	2605.00	7365.00
2	2605.00	7350.00
3	2605.00	7390.00

Fuente: Elaboración propia

Datos de arena para peso unitario compactado

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Peso recipiente + muestra compactado (gr)
1	2605.00	8045.00
2	2605.00	8040.00
3	2605.00	8115.00

Fuente: Elaboración propia

Tipo de agregado

- Gravilla

Dimensiones internas del molde

Diámetro = 21.4 cm

Altura = 28.0 cm

Datos de gravilla para peso unitario suelto

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)
1	5845.00	18835.00
2	5845.00	18600.00
3	5845.00	18675.00

Fuente: Elaboración propia

Datos de gravilla para peso unitario compactado

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Peso recipiente + muestra compactado (gr)
1	5845.00	19630.00
2	5845.00	19765.00
3	5845.00	19770.00

Fuente: Elaboración propia

Tipo de agregado

- Grava

Dimensiones internas del molde

Diámetro = 21.4 cm

Altura = 28.0 cm

Datos de grava para peso unitario suelto

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)
1	5845.00	19715.00
2	5845.00	19655.00
3	5845.00	19875.00

Fuente: Elaboración propia

Datos de grava para peso unitario compactado

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Peso recipiente + muestra compactado (gr)
1	5845.00	20600.00
2	5845.00	20690.00
3	5845.00	20800.00

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo

Volumen del molde

$$\text{Vol} = \frac{\pi * D^2}{4} * S$$

$$\text{Vol}_{\text{molde para arena}} = \frac{\pi * 15.3^2}{4} * 16.5 = 3033.59 \text{ cm}^3$$

$$\text{Vol}_{\text{molde para grava y gravilla}} = \frac{\pi * 21.4^2}{4} * 28.0 = 10071.07 \text{ cm}^3$$

- Arena

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{\text{Peso de muestra suelta}}{\text{Volumen del molde}}$$

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{4760}{3033.59} = 1.57 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{\text{Peso de muestra compactada}}{\text{Volumen del molde}}$$

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{5440}{3033.59} = 1.79 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Gravilla

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{12990.00}{10071.07} = 1.29 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{13785.00}{10071.07} = 1.37 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Grava

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{13870.00}{10071.07} = 1.38 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{14755.00}{10071.07} = 1.47 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Resultados

Peso unitario suelto - arena

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen del recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm3)
1	2605.00	3033.59	7365.00	4760.00	1.569
2	2605.00	3033.59	7350.00	4745.00	1.564
3	2605.00	3033.59	7390.00	4785.00	1.577
				Promedio	1.570

Fuente: Elaboración propia

Peso unitario compactado - arena

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen del recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra compactado (gr)	Peso muestra compactado (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm3)
1	2605.00	3033.59	8045.00	5440.00	1.793
2	2605.00	3033.59	8040.00	5435.00	1.792
3	2605.00	3033.59	8115.00	5510.00	1.816
				Promedio	1.800

Fuente: Elaboración propia

Peso unitario suelto - gravilla

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen del recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm3)
1	5845.00	10071.07	18835.00	12990.00	1.290
2	5845.00	10071.07	18600.00	12755.00	1.266
3	5845.00	10071.07	18675.00	12830.00	1.274
				Promedio	1.277

Fuente: Elaboración propia

Peso unitario compactado - gravilla

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen del recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra compactado (gr)	Peso muestra compactado (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm3)
1	5845.00	10071.07	19630.00	13785.00	1.369
2	5845.00	10071.07	19765.00	13920.00	1.382
3	5845.00	10071.07	19770.00	13925.00	1.383
				Promedio	1.378

Fuente: Elaboración propia

Peso unitario suelto - grava

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen del recipiente (cm ³)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	5845.00	10071.07	19715.00	13870.00	1.377
2	5845.00	10071.07	19655.00	13810.00	1.371
3	5845.00	10071.07	19875.00	14030.00	1.393
				Promedio	1.381

Fuente: Elaboración propia

Peso unitario compactado - grava

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen del recipiente (cm ³)	Peso recipiente + muestra compactado (gr)	Peso muestra compactado (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	5845.00	10071.07	20600.00	14755.00	1.465
2	5845.00	10071.07	20690.00	14845.00	1.474
3	5845.00	10071.07	20800.00	14955.00	1.485
				Promedio	1.475

Fuente: Elaboración propia

Imagen 2. Compactado de material con varilla metálica



3 Peso específico del agregado grueso ASTM E 127 AASHTO T85 – 91

Es la tasa entre el peso y el volumen de un material árido.

Procedimiento

Para el agregado grueso se toma una cantidad suficiente que abarque las 3 muestras representativas de 20 kg aproximadamente, se lo deja sumergido en agua por un periodo de 24 hr a temperatura ambiente.

Pasado este periodo se elimina el agua y el agregado se lo va secando superficialmente de manera rápida con un paño donde solo se elimina la película formada por el agua.

Se selecciona 3 muestras con un peso conformado de 5 kg y se lectura el peso de la muestra cuando esta esté sumergida.

Finalmente, ya teniendo el peso de la muestra se la debe secar al horno por un tiempo de 24 hr para conocer el peso de la muestra seca.

Datos

Tipo de agregado

- Gravilla

Datos para peso específico de gravilla

Muestra N°	Peso muestra seca "A" (gr)	Peso muestra sat. con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra sat. dentro del agua "C" (gr)
1	4939.10	5000.00	3117.00
2	4942.50	5000.00	3120.00
3	4941.60	5000.00	3119.00

Fuente: Elaboración propia

Tipo de agregado

- Grava

Datos para peso específico de grava

Muestra N°	Peso muestra seca "A" (gr)	Peso muestra sat. con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra sat. dentro del agua "C" (gr)
1	4954.70	5000.00	3123.00
2	4953.90	5000.00	3118.00
3	4952.90	5000.00	3125.00

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo

Peso específico seco al horno (SH) =

$$\frac{\text{Peso muestra seca (A)}}{\text{Peso muestra sat. superficialmente seca (B) - Peso de muestra sat. (C)}}$$

$$\text{Peso específico seco al horno (SH)} = \frac{4939.10}{5000 - 3117} = 2.62 \text{ gr}$$

Peso específico en condición saturada y superficialmente seca (SSS) =

$$\frac{\text{Peso muestra sat. superficialmente seca (B)}}{\text{Peso muestra sat. superficialmente seca (B) - Peso de muestra sat. (C)}}$$

$$\text{P.E. en cond. saturada y sup. seca (SSS)} = \frac{5000}{5000 - 3117} = 2.66 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{\text{Peso muestra seca A}}{\text{Peso muestra seca (A) - Peso de muestra sat. (C)}}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{4939.10}{4939.10 - 3117} = 2.71 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ De absorción} = \frac{\text{Peso muestra sat. superficialmente seca (B)} - \text{Peso muestra seca(A)}}{\text{Peso muestra seca (A)}}$$

$$\% \text{ De absorción} = \frac{5000 - 4939.10}{5000} * 100 = 1.23 \%$$

Resultados

Tipo de agregado

- Gravilla

Peso específico - gravilla

Gravilla 3/8"							
Muestra N°	Peso muestra seca "A" (gr)	Peso muestra Sat. con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra Sat. dentro del agua "C" (gr)	Peso específico SH (gr/cm3)	Peso específico S.S.S (gr/cm3)	Peso específico aparente (gr/cm3)	Absorción %
1	4939.10	5000.00	3117.00	2.62	2.66	2.71	1.23
2	4942.50	5000.00	3120.00	2.63	2.66	2.71	1.16
3	4941.60	5000.00	3119.00	2.63	2.66	2.71	1.18
			Promedio	2.63	2.66	2.71	1.19

Fuente: Elaboración propia

Tipo de agregado

- Grava

Peso específico - grava

Grava 3/4"							
Muestra N°	Peso muestra seca "A" (gr)	Peso muestra sat. con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra sat. dentro del agua "C" (gr)	Peso específico SH (gr/cm ³)	Peso específico S.S.S (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	Absorción %
1	4954.70	5000.00	3123.00	2.64	2.66	2.70	0.91
2	4953.90	5000.00	3118.00	2.63	2.66	2.70	0.93
3	4952.90	5000.00	3125.00	2.64	2.67	2.71	0.95
			Promedio	2.64	2.66	2.70	0.93

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3. Peso sumergido del material



Peso específico del agregado fino ASTM E 128 AASHTO T84 – 91

Es la tasa entre el peso y el volumen de un material árido.

Procedimiento

Se debe contar con una muestra representativa de la arena y se la sumerge con agua que la cubra en su totalidad dejándola esta reposar por un periodo de 24 hr.

Pasado el tiempo de saturación de la arena, se elimina el exceso de agua evitando en lo posible la pérdida de materia, ya con la muestra saturada se le empieza a suministrar calor que esta se ira secando superficialmente. Para verificar q se encuentre en la condición saturada superficialmente se hace uso del molde troncocónico y el pisón, introduciendo la muestra en el molde hasta 1/3 de su altura y compactar con 25 golpes esa acción realizada 3 veces llegando al borde superior.

Se levanta el molde y se debe observar que si existe humedad la muestra conservara la forma del cono y si el árido cae suavemente según su talud natural este alcanza la condición saturada superficialmente seca.

Se toma de manera inmediata 3 muestras, cada una de 500 gr y se realiza la toma de datos siguientes.

Datos

Datos de pesos en laboratorio

Arena			
Ensayos	1	2	3
Peso muestra seca al horno "A" (gr)	481.10	481.10	481.50
Peso matraz + agua "B" (gr)	677.40	736.60	721.60
Peso muestra + matraz + agua "C" (gr)	977.20	1017.20	1013.70
Peso muestra Sat. Seca "S" (gr)	500.00	500.00	500.00
Peso matraz (gr)	177.60	236.70	221.60

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo

Peso específico seco al horno (SH) =

$$\frac{\text{Peso muestra seca al horno (A)}}{\text{Peso matraz y agua (B) + Peso muestra sat seca (S) - Peso mues, mat y agua(C)}}$$

$$P. E. \text{ seco al horno (SH)} = \frac{481.10}{677.40 + 500 - 977.20} = 2.40 \text{ gr/cm}^3$$

Peso específico en condición saturada y superficialmente seca (SSS) =

$$\frac{\text{Peso muestra sat seca (S)}}{\text{Peso matraz y agua (B) + Peso muestra sat seca (S) - Peso mues, mat y agua (C)}}$$

$$\text{P. E. en condición saturada y superficialmente seca (SSS)} = \frac{500.00}{677.40 + 500 - 977.20} = 2.50 \text{ gr/cm}^3$$

Peso específico aparente =

$$\frac{\text{Peso muestra seca al horno (A)}}{\text{Peso matraz y agua (B) + Peso mues seca al horno (A) - Peso mues, mat y agua (C)}}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{481.10}{677.40 + 481.10 - 977.20} = 2.65 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Absorción \%} = \frac{\text{Peso muestra sat seca (S) - Peso muestra seca al horno (A)}}{\text{Peso muestra seca al horno (A)}}$$

$$\text{Absorción \%} = \frac{500 - 481.10}{481.10} * 100 = 3.93 \%$$

Resultados

Resultados del peso específico de arena

Arena				
Ensayos	1	2	3	Promedio
Peso específico SH (gr/cm ³)	2.40	2.19	2.32	2.30
Peso específico S.S.S (gr/cm ³)	2.50	2.28	2.41	2.39
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.65	2.40	2.54	2.53
Absorción %	3.93	3.93	3.84	3.90

Fuente: Elaboración propia

Imagen 4. Muestra saturada superficialmente seca



4 Ensayo de abrasión ASTM E 131 AASHTO T96 – 99

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

Procedimiento

Con la muestra seca se realiza la respectiva granulometría empleando los tamices de abertura 75 mm, 63 mm, 50 mm, 37,5 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm, 4,75 mm y 2,36 mm.

Con el valor del pasa se utiliza la tabla tomando una muestra de 5kg, para el caso de la grava se ubica en la columna 5 con un número de esferas de acero igual a 11 y para la gravilla se ubica en la columna 6 con un número de esferas de acero igual a 8.

Ambas muestras se introducen en la máquina de los ángeles de manera separada con sus respectivas esferas y empiezan las revoluciones por un tiempo determinado.

Se retira la muestra evitando pérdidas y se la debe separar aplicando el tamiz N°12 para conocer su peso seco y realizar los cálculos correspondientes.

Grado de ensaye definido por sus rangos de tamaño

Tamaño de Partículas (mm)	1	2	3	4	5	6	7
	(80-40)	(50-25)	(40-20)	(40-10)	(20-10)	(10-5)	(5-2,5)
Tamaño de las fracciones (g)							
75 - 63	2.500 ± 50						
63 - 50	2.500 ± 50						
50 - 37,5	5.000 ± 50	5.000 ± 25					
37,5 - 25		5.000 ± 50	5.000 ± 25	1.250 ± 10			
25 - 19			5.000 ± 25	1.250 ± 25			
19 - 12,5				1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12,5 - 9,5				1.250 ± 25	2.500 ± 10		
9,5 - 6,3						2.500 ± 10	
6,3 - 4,75						2.500 ± 10	
4,75 - 2,36							5.000 ± 10
Masa inicial de muestra (Mi)	10.000 ± 100	10.000 ± 75	10.000 ± 50	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10
Esferas							
- numero	12		12		11	8	6
- masa (g)	5.00 ± 25		5.000 ± 25		4.584 ± 25	3.330 ± 25	2.500 ± 15
Numero de revoluciones	1.000		500				

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras - Manual de ensayos de suelos y materiales * Asfaltos

Datos

Tipo de agregado

- Gravilla

Gradación C - gravilla

Gradación C		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso ret. (gr)
3/8"	1/4"	2500
1/4"	N°4	2500

Fuente: Elaboración propia

Peso inicial para máquina de los ángeles = 5000 gr

Peso final de muestra seca al horno que se retiene en tamiz N° 12 = 3795 gr

Tipo de agregado

- Grava

Gradación B - grava

Gradación B		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso ret. (gr)
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500

Fuente: Elaboración propia

Peso inicial para máquina de los ángeles = 5000 gr

Peso final de muestra seca al horno – retiene tamiz N° 12 = 3900.00 gr

Proceso de cálculo

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

$$\% \text{ Desgaste gravilla} = \frac{5000 - 3695}{5000} * 100 = 26.10 \%$$

$$\% \text{ Desgaste grava} = \frac{5000 - 3900}{5000} * 100 = 22.00 \%$$

Resultados

Agregado	% de desgaste
Gravilla	26.10
Grava	22.00

Imagen 5. Ensayo de abrasión – máquina de los ángeles



5 Índice de alargamiento y aplanamiento NTL 354

Es muy importante determinar si un agregado es muy largo o muy plano, ya que de esto depende la resistencia de una mezcla.

Procedimiento

Para determinar el índice de alargamiento y aplanamiento de se debe tomar una muestra representativa seca y hacerla pasar por una serie de tamices que obedecen a las aberturas de 1", 3/4", 1/2", 3/8" y 1/4". De esta cantidad se debe pesar el total de material retenido en cada tamiz para que este material respectivo pase por los calibradores estandarizados para que con el respectivo peso se establezca las relaciones.

Dimensiones de los calibradores para espesor y longitud

Tamices		Dimensiones del calibrador (mm)	
Pasa	Retiene	Aplanamiento (Abertura de la ranura)	Alargamiento (Separación de las barras)
mm (pulg)	mm (pulg)		
63 (2½")	50 (2")	33,9	--
50 (2")	37,5 (1½")	26,3	78,8
37,5 (1½")	25,0 (1")	18,8	56,3
25,0 (1")	19 (¾")	13,2	39,6
19 (¾")	12,5 (½")	9,5	28,4
12,5 (½")	9,5 (⅜")	6,6	19,8
9,5 (⅜")	6,3 (¼")	4,7	14,2

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras - Manual de ensayos de suelos y materiales * Asfaltos

Datos

Tipo de agregado

- Grava

Muestra total = 5000 gr

Datos para determinar el índice de aplanamiento

Tamiz	Peso retenido (Ri)	Peso de partículas que pasan (mi)
1 1/2" - 1"	0.00	
1" - 3/4"	27	27
3/4" - 1/2"	2740.10	1530.00
1/2" - 3/8"	1550.00	551.70
3/8" - 1/4"	682.90	85.50

Fuente: Elaboración propia

Datos para determinar el índice de alargamiento

Tamiz	Peso retenido (Ri)	Peso de partículas que pasan (mi)
1 1/2" - 1"	0.00	
1" - 3/4"	27	17.8
3/4" - 1/2"	2740.10	2475.00
1/2" - 3/8"	1550.00	875.30
3/8" - 1/4"	682.90	171.60

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo

- Índice de aplanamiento

$$\% \text{ Índice de aplanamiento} = \frac{\text{Peso de las partículas que pasan (mi)}}{\text{Peso retenido (Ri)}} * 100$$

$$\% \text{ Índice de aplanamiento} = \frac{1530.00}{2740.10} * 100 = 55.84 \%$$

$$\% \text{ Índice de aplanamiento global} = \frac{\sum \text{Masa pasan}}{\sum \text{Masa total}} * 100$$

$$\% \text{ Índice de aplanamiento global} = \frac{2194.20}{5000} * 100 = 43.88 \%$$

- **Índice de alargamiento**

$$\% \text{ Índice de alargamiento} = \frac{\text{Peso de las partículas que pasan (mi)}}{\text{Peso retenido (Ri)}} * 100$$

$$\% \text{ Índice de alargamiento} = \frac{17.8}{27} * 100 = 65.93 \%$$

$$\% \text{ Índice de alargamiento global} = \frac{\sum \text{Masa pasan}}{\sum \text{Masa total}} * 100$$

$$\% \text{ Índice de alargamiento global} = \frac{3539.70}{5000} * 100 = 70.79 \%$$

Resultados

Índice de aplanamiento

Tamiz	Peso retenido (Ri)	% Retenido	Peso de partículas que pasan (mi)	Índice de aplanamiento % (IAi)	Índice de aplanamiento global % (IA)
1 1/2" - 1"	0.00	0.00			43.884
1" - 3/4"	27	0.54	27	100.00	
3/4" - 1/2"	2740.10	54.81	1530.00	55.84	
1/2" - 3/8"	1550.00	32.10	551.70	35.59	
3/8" - 1/4"	682.90	14.30	85.50	12.52	
Total	5000		2194.20		

Índice de alargamiento

Tamiz	Peso retenido (Ri)	% Retenido	Peso de partículas que pasan (mi)	Índice de alargamiento % (IAi)	Índice de alargamiento global % (IA)
1 1/2" - 1"	0.00	0.00			70.794
1" - 3/4"	27	0.54	17.8	65.93	
3/4" - 1/2"	2740.10	54.81	2475.00	90.33	
1/2" - 3/8"	1550.00	32.10	875.30	56.47	
3/8" - 1/4"	682.90	14.30	171.60	25.13	
Total	5000		3539.70		

Fuente: Elaboración propia

Imagen 6. Índice de alargamiento y aplanamiento



6 Equivalente de arena ASTM D 2419 AASHTO T176-00

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (Nº 4).

Procedimiento

Para la realización del ensayo se debe contar con arena natural seca y en estado suelto. Se toma una muestra representativa del material y se la introduce a las medidas hasta la línea señalada haciéndole movimientos para que se acomode de mejor manera el material.

Luego se debe llenar con estas medidas con la solución y agua destilada, agitando vigorosamente de manera manual, luego se extrae los vacíos y se deja reposar la muestra por un periodo mínimo de 2 días. Para finalmente hacer la lectura a las alturas en centímetros de arena y arcilla que se presenta.

Datos

Altura de arena y arcilla

Muestra Nº	Altura de arena (cm)	Altura de arcilla (cm)
1	10.60	11.80
2	10.60	11.80
3	9.90	11.30

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo

$$\text{Equivalente de arena (EA)} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} * 100$$

$$\text{Equivalente de arena (EA)} = \frac{10.6}{11.80} * 100 = 89.83 \%$$

$$\text{Equivalente de arena (EA)} = \frac{9.9}{11.30} * 100 = 87.61 \%$$

Resultados

Equivalente de arena

Muestra N°	Equivalente de arena	% EA
1	0.90	89.83
2	0.90	89.83
3	0.88	87.61
	Promedio	89.09

Fuente: Elaboración propia

Imagen 7. Equivalente de arena



Caracterización del cemento asfáltico

1 Penetración ASTM D 5 AASHTO T49-97

El ensayo de penetración es un método empírico usado para medir la consistencia del cemento asfáltico. Por lo general la penetración se mide a 25°C que es el promedio de las temperaturas de servicio del pavimento.

Procedimiento

Para la realización del ensayo se toma una muestra representativa de asfalto, libre de cualquier impureza.

Se la calienta hasta que se encuentre en estado líquido para que sea más fácil su manipulación y pueda colocarse en recipientes para el respectivo ensayo.

Las muestras deben ser sumergidas en agua a una temperatura de 25°C por un periodo controlado de tiempo y manteniendo la misma temperatura.

Se sacan las muestras del agua y se la deja a temperatura ambiente para poder realizar el ensayo con el penetrómetro.

Se acomoda la muestra debajo de la aguja del equipo y se la deja caer libremente en un periodo de 5 segundos, para finalmente tomar lectura.

Datos y resultados

Datos de ensayo de penetración

Lectura	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Lectura N°1	0,1 mm	97	100	99
Lectura N°2	0,1 mm	100	95	94
Lectura N°3	0,1 mm	89	96	94

Fuente: Elaboración propia

Resultados de ensayo de penetración

Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo
0,1 mm	95	97	96	96	85	100

Fuente: Elaboración propia

Imagen 8. Ensayo de penetración



2 Ductilidad ASTM D 113 AASHTO T51-00

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm, a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas.

Procedimiento

Se debe tomar una muestra representativa del cemento asfáltico, calentarlo hasta que alcance su estado fluido para poder verter en los moldes de ensayo.

Para preparar los moldes estos se los debe acondicionar con una sustancia desmoldante (vaselina líquida) para que el cemento asfáltico no se adhiera al molde ni a su base para puedan separarse sin problemas.

Se vierte el cemento asfáltico en los moldes preparados y se deja las muestras a temperatura ambiente por un periodo de 30 min. Se debe nivelar la muestra vertida para que esta se convierta en una superficie plana para esto, con una espátula caliente se pasa de manera rápida quitando cualquier excedente.

El equipo del ductilímetro cuenta con agua a temperatura requerida y en esta se las debe sumergir por un periodo de 30 min.

Finalmente, se toma los moldes y se engancha en dos extremos, uno fijo y otro móvil para que empiecen a estirarse a una velocidad constante, el ensayo finaliza cuando se rompe la muestra y se toma lectura inmediata de la distancia a la cual sucede dicha ruptura.

Datos y resultados

Datos y resultados de ensayo de ductilidad

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Ductilidad	cm	106	102	107	105	100	-

Fuente: Elaboración propia

Imagen 9. Ensayo de ductilidad



3 Puntos de inflamación y combustión ASTM D 1 310-01 AASHTO T79-96

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

Procedimiento

Se debe tomar una muestra representativa de cemento asfáltico y calentarla hasta que alcance un estado líquido que por medio de este será más fácil su manejo.

Se debe alistar la copa de Cleveland, esta debe estar limpia y seca para que se le pueda añadir la muestra y colocarla sobre el calentador.

Para hacer las lecturas de temperatura correspondiente se debe hacer el uso de un termómetro, este se encuentra en una posición fija vertical hasta una altura media dentro de la copa.

A medida que incrementa la temperatura en el calentador se le va aplicando una llama al centro de la copa a medida que va incrementado la temperatura por un rango de 2°C que va indicando en el termómetro hasta que se pueda visualizar el destello que viene siendo denominado punto de inflamación tomando lectura inmediata en el termómetro.

Se continúa calentando de modo que la temperatura de la muestra se vaya elevando y se le debe seguir aplicando la llama hasta que el material se inflame y continúe quemándose, este viene siendo denominado punto de combustión del material que viene siendo reflejado en la lectura inmediata del termómetro.

Datos

Datos de ensayo de inflamación y combustión

Muestra	Punto de inflamación °C	Combustión °C
Muestra 1	240	278
Muestra 2	238	280
Muestra 3	235	275

Fuente: Elaboración propia

Resultados

Resultados de ensayo de inflamación y combustión

Descripción	Punto de inflamación °C	Combustión °C	Valor mínimo de combustión °C
Valor promedio	238	278	232

Fuente: Elaboración propia

4 Peso específico ASTM D71 – 94 AASTHTO T229-97

Este ensayo determina el peso específico de los asfaltos, mediante el uso de picnómetro a la temperatura requerida.

Procedimiento

Se debe tomar una muestra representativa del cemento asfáltico y calentarla hasta que alcance su condición fluida para trabajar con mayor facilidad y una mejor aplicación a los picnómetros.

De manera inicial se debe calibrar los picnómetros que serán empleados determinando sus pesos (A), estos deben estar previamente limpios y secos. A estos picnómetros se los debe llenar con agua destilada y se los debe sumergir en una bandeja con agua destilada por un periodo de 30 min., sacar del baño maría y determinar el peso (B).

Con el picnómetro vacío se le añade la muestra de cemento asfáltico hasta una guía señalada evitando que la muestra se adhiera a las paredes del frasco y determinar su peso (C).

Finalmente se termina de llenar el picnómetro con agua destilada y se lo coloca en baño maría por un periodo de 30 min para retirarlo y determinar el peso final (D).

Datos

Datos de ensayo de peso específico

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso picnómetro (A)	gr	33.9	33.8	34.3
Peso picnómetro + agua (25°C) (B)	gr	84.4	84.6	86.1
Peso picnómetro + muestra (C)	gr	57	57	59
Peso picnómetro + agua + muestra (D)	gr	85.1	85.4	87.1

Fuente: Elaboración propia

Proceso de calculo

$$\rho_b = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} * \rho_{w \text{ a } 25^{\circ}C} * 1.000$$

$$\rho_b = \frac{57 - 33.9}{(84.4 - 33.9) - (85.1 - 57)} * 0.997.77 * 1.000 \quad \rho_b = 1.028 \text{ gr/cm}^3$$

Resultados

Resultados de ensayo de peso específico

Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
gr/cm ³	1.028	1.033	1.039	1.033	1	1.05

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2

Factura de pesaje de volqueta

BALANZA "MENDOZA"
KM 7.5 CARRETERA AL CHACO - CEL. 70216071-73451178
Tarija - Bolivia

Ingreso 10/12/2020 07:37:27 AM
Salida 10/12/2020 07:41:33 AM

179.56 qq

Monto Bs 20.0

Placa 952 IES

CLIENTE

Stefany

Nº 13918
Fecha 10/12/2020

BRUTO: 8,260
TARA: 0
NETO: 8,260

Cliente / Comprador: STEFANY DEL CASTILLO AMABOBO
Material: VOLQUETA CALIBRADA
Chofer: ELLAS ROMERO
Vendedor: NUZZ

Observación: BALANZA ELEC. ÚNICA

Stefany
EMPRESARIO

70216071-73451178

Anexo 3

Tráfico promedio diario

Fecha: domingo 13 de agosto del 2017

Hora	Livianos	Camionetas hasta 2 ton.	Minibuses 15 pasajeros	Buses medianos 2 ejes	Camiones med. 2 ejes (2.5 - 10 ton)	Camiones grandes 2 ejes (+ de 10 ton)	Camiones grandes 3 ejes (+ de 10 ton)	Camiones semi remolque	Camiones remolque
06:00 a 07:00	160	0	3	0	17	0	3	0	0
07:00 a 08:00	172	0	4	2	20	0	6	0	0
08:00 a 09:00	263	2	4	0	22	0	4	2	1
09:00 a 10:00	368	5	5	2	30	4	2	6	0
10:00 a 11:00	328	0	6	0	32	0	2	3	3
11:00 a 12:00	126	0	4	0	34	0	5	0	0
12:00 a 13:00	96	0	0	0	0	0	2	0	0
13:00 a 14:00	87	0	2	0	0	6	0	0	0
14:00 a 15:00	268	2	4	0	18	4	4	0	0
15:00 a 16:00	301	0	4	0	28	5	2	0	2
16:00 a 17:00	312	1	3	0	25	1	7	0	0
17:00 a 18:00	284	0	2	0	27	0	3	4	0
18:00 a 19:00	267	0	2	0	24	0	5	2	0
19:00 a 20:00	250	0	2	6	18	0	6	2	0
20:00 a 21:00	238	0	2	6	10	0	4	0	2
21:00 a 22:00	157	0	1	0	3	0	1	7	0
22:00 a 23:00	36	0	0	4	0	0	0	2	0
23:00 a 24:00	18	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 a 02:00	12	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 a 03:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 a 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 a 05:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 a 06:00	51	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	3797	10	48	20	308	20	56	28	8

Fuente: Análisis del comportamiento recopilado del pavimento tramo el Portillo – Cruce el Valle

Autor: Gareca Cuellar Jorge Luis

Tráfico promedio diario

Fecha: lunes 14 de agosto del 2017

Hora	Livianos	Camionetas hasta 2 ton.	Minibuses 15 pasajeros	Buses medianos 2 ejes	Camiones med. 2 ejes (2.5 - 10 ton)	Camiones grandes 2 ejes (+ de 10 ton)	Camiones grandes 3 ejes (+ de 10 ton)	Camiones semi remolque	Camiones remolque
06:00 a 07:00	98	4	4	0	8	0	3	2	1
07:00 a 08:00	112	0	3	4	9	4	6	0	0
08:00 a 09:00	127	2	2	0	7	0	4	4	2
09:00 a 10:00	298	5	0	3	12	0	2	0	0
10:00 a 11:00	256	0	8	0	17	0	2	4	3
11:00 a 12:00	111	1	4	0	10	0	5	0	0
12:00 a 13:00	57	3	0	0	7	0	2	1	0
13:00 a 14:00	62	0	0	0	15	2	0	0	0
14:00 a 15:00	124	2	4	0	27	0	4	2	0
15:00 a 16:00	301	0	2	5	22	3	2	4	3
16:00 a 17:00	312	1	2	0	18	0	7	0	0
17:00 a 18:00	287	7	4	0	25	2	3	4	0
18:00 a 19:00	271	3	6	0	42	0	5	0	0
19:00 a 20:00	253	0	0	6	34	3	6	4	0
20:00 a 21:00	238	0	0	6	0	0	4	0	3
21:00 a 22:00	127	0	1	0	0	3	1	0	0
22:00 a 23:00	36	0	0	4	2	0	0	4	0
23:00 a 24:00	18	0	0	4	2	4	0	2	0
01:00 a 02:00	12	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 a 03:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 a 04:00	7	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 a 05:00	3	0	0	0	0	1	0	0	0
05:00 a 06:00	47	0	0	0	5	0	0	1	0
Total	3158	28	40	32	262	22	56	32	12

Fuente: Análisis del comportamiento recapado del pavimento tramo el Portillo – Cruce el Valle

Autor: Gareca Cuellar Jorge Luis

Tráfico promedio diario

Fecha: martes 15 de agosto del 2017

Hora	Livianos	Camionetas hasta 2 ton.	Minibuses 15 pasajeros	Buses medianos 2 ejes	Camiones med. 2 ejes (2.5 - 10 ton)	Camiones grandes 2 ejes (+ de 10 ton)	Camiones grandes 3 ejes (+ de 10 ton)	camiones semi remolque	Camiones remolque
06:00 a 07:00	187	4	3	6	6	0	2	0	2
07:00 a 08:00	200	6	4	4	4	2	0	0	0
08:00 a 09:00	254	2	6	10	10	0	6	2	1
09:00 a 10:00	262	0	0	18	18	6	4	2	0
10:00 a 11:00	268	0	2	22	22	0	2	0	4
11:00 a 12:00	282	0	0	0	0	4	6	5	2
12:00 a 13:00	274	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00 a 14:00	187	0	0	34	34	0	0	0	0
14:00 a 15:00	204	0	0	38	38	0	6	3	0
15:00 a 16:00	208	2	0	42	42	0	6	2	2
16:00 a 17:00	192	4	0	31	31	5	4	2	0
17:00 a 18:00	170	0	2	28	28	4	6	4	0
18:00 a 19:00	97	0	2	32	32	0	2	0	0
19:00 a 20:00	48	2	2	18	18	0	7	4	0
20:00 a 21:00	0	2	1	25	25	2	2	4	2
21:00 a 22:00	0	0	0	10	10	0	0	2	0
22:00 a 23:00	12	2	0	0	0	0	0	0	0
23:00 a 24:00	17	0	0	0	0	0	2	0	0
01:00 a 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 a 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 a 04:00	16	0	0	0	0	2	0	0	0
04:00 a 05:00	70	0	0	2	2	3	0	4	0
05:00 a 06:00	120	0	0	2	2	0	3	0	0
Total	3068	24	22	322	322	28	58	34	13

Fuente: Análisis del comportamiento recapado del pavimento tramo el Portillo – Cruce el Valle

Autor: Gareca Cuellar Jorge Luis

Tráfico promedio diario

Fecha: miércoles 16 de agosto del 2017

Hora	Livianos	Camionetas hasta 2 ton.	Minibuses 15 pasajeros	Buses medianos 2 ejes	Camiones med. 2 ejes (2.5 - 10 ton)	Camiones grandes 2 ejes (+ de 10 ton)	Camiones grandes 3 ejes (+ de 10 ton)	Camiones semi remolque	Camiones remolque
06:00 a 07:00	97	0	4	0	6	4	3	0	0
07:00 a 08:00	125	10	6	6	0	0	6	2	0
08:00 a 09:00	132	8	3	0	8	6	4	2	2
09:00 a 10:00	178	12	0	8	14	0	6	0	0
10:00 a 11:00	268	0	2	4	17	3	6	4	1
11:00 a 12:00	210	0	0	0	0	0	5	2	0
12:00 a 13:00	68	0	0	0	8	0	2	0	2
13:00 a 14:00	57	0	2	0	10	0	0	3	1
14:00 a 15:00	187	11	0	8	6	0	4	0	0
15:00 a 16:00	268	15	4	0	12	0	5	3	0
16:00 a 17:00	257	24	3	0	9	0	6	0	3
17:00 a 18:00	289	12	6	6	12	0	3	1	0
18:00 a 19:00	272	4	2	4	4	4	3	1	1
19:00 a 20:00	182	2	0	4	8	0	4	4	0
20:00 a 21:00	174	0	0	3	7	6	0	2	0
21:00 a 22:00	138	1	0	2	12	0	0	0	0
22:00 a 23:00	127	0	0	0	10	0	0	3	2
23:00 a 24:00	118	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 a 02:00	35	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 a 03:00	21	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 a 04:00	28	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 a 05:00	73	0	0	0	3	2	0	2	0
05:00 a 06:00	108	1	0	2	0	1	0	0	0
Total	3412	100	32	47	146	26	57	29	12

Fuente: Análisis del comportamiento recapado del pavimento tramo el Portillo – Cruce el Valle

Autor: Gareca Cuellar Jorge Luis

Tráfico promedio diario

Fecha: jueves 17 de agosto del 2017

Hora	Livianos	Camionetas hasta 2 ton.	Minibuses 15 pasajeros	Buses medianos 2 ejes	Camiones med. 2 ejes (2.5 - 10 ton)	Camiones grandes 2 ejes (+ de 10 ton)	Camiones grandes 3 ejes (+ de 10 ton)	Camiones semi remolque	Camiones remolque
06:00 a 07:00	94	10	3	0	13	0	4	6	0
07:00 a 08:00	168	18	4	6	15	2	6	4	0
08:00 a 09:00	275	11	0	2	18	0	0	5	0
09:00 a 10:00	285	12	4	2	9	0	2	0	0
10:00 a 11:00	305	7	0	0	17	4	3	8	2
11:00 a 12:00	328	3	0	0	0	0	0	1	0
12:00 a 13:00	348	0	0	0	0	0	4	2	0
13:00 a 14:00	352	0	4	0	0	1	1	0	2
14:00 a 15:00	350	11	6	0	1	5	6	4	0
15:00 a 16:00	280	15	2	0	4	4	4	0	2
16:00 a 17:00	300	17	4	0	8	0	5	6	0
17:00 a 18:00	217	12	6	0	15	2	2	0	0
18:00 a 19:00	182	11	8	4	18	0	3	2	1
19:00 a 20:00	142	0	0	4	21	0	3	3	0
20:00 a 21:00	137	5	0	6	10	2	0	2	1
21:00 a 22:00	86	3	0	6	8	0	0	0	2
22:00 a 23:00	53	6	0	6	0	0	0	3	0
23:00 a 24:00	45	4	0	0	0	0	0	0	0
01:00 a 02:00	17	0	0	0	0	0	0	0	1
02:00 a 03:00	12	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 a 04:00	18	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 a 05:00	47	8	0	0	12	0	0	0	0
05:00 a 06:00	63	11	3	4	19	0	6	2	0
Total	4104	164	44	40	188	20	49	48	11

Fuente: Análisis del comportamiento recapado del pavimento tramo el Portillo – Cruce el Valle

Autor: Gareca Cuellar Jorge Luis

Tráfico promedio diario

Fecha: viernes 18 de agosto del 2017

Hora	Livianos	Camionetas hasta 2 ton.	Minibuses 15 pasajeros	Buses med. 2 ejes	Camiones med. 2 ejes (2.5 - 10 ton)	Camiones grandes 2 ejes (+ de 10 ton)	Camiones grandes 3 ejes (+ de 10 ton)	Camiones semi remolque	Camiones remolque
06:00 a 07:00	74	0	3	0	10	0	0	6	1
07:00 a 08:00	157	0	4	4	12	0	4	4	0
08:00 a 09:00	257	3	2	6	10	0	0	3	2
09:00 a 10:00	289	0	2	0	7	4	3	4	0
10:00 a 11:00	358	5	1	0	2	0	1	0	3
11:00 a 12:00	278	0	0	0	0	0	0	1	0
12:00 a 13:00	150	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00 a 14:00	189	0	0	0	12	0	0	2	1
14:00 a 15:00	275	0	0	0	18	0	6	0	0
15:00 a 16:00	358	3	4	0	25	0	4	5	3
16:00 a 17:00	347	0	3	0	32	0	4	0	0
17:00 a 18:00	368	0	4	0	57	0	6	4	1
18:00 a 19:00	281	0	4	4	62	0	6	2	0
19:00 a 20:00	247	1	2	4	43	2	5	0	0
20:00 a 21:00	187	0	0	4	38	0	3	0	1
21:00 a 22:00	151	0	0	4	22	0	1	2	2
22:00 a 23:00	142	0	0	2	0	0	1	0	0
23:00 a 24:00	57	0	0	0	0	0	0	1	0
01:00 a 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 a 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 a 04:00	18	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 a 05:00	27	0	0	0	2	0	0	3	0
05:00 a 06:00	28	0	3	0	6	0	0	5	0
Total	4238	12	32	28	358	6	44	42	14

Fuente: Análisis del comportamiento recapado del pavimento tramo el Portillo – Cruce el Valle

Autor: Gareca Cuellar Jorge Luis

Tráfico promedio diario

Fecha: sábado 19 de agosto del 2017

Hora	Livianos	Camionetas hasta 2 ton.	Minibuses 15 pasajeros	Buses medios 2 ejes	Camiones med. 2 ejes (2.5 - 10 ton)	Camiones grandes 2 ejes (+ de 10 ton)	Camiones grandes 3 ejes (+ de 10 ton)	Camiones semi remolque	Camiones remolque
06:00 a 07:00	92	0	2	4	9	0	4	1	0
07:00 a 08:00	102	4	4	2	12	1	4	2	0
08:00 a 09:00	125	0	0	4	0	0	3	4	0
09:00 a 10:00	157	3	4	0	10	0	0	5	2
10:00 a 11:00	248	0	0	0	8	0	4	3	1
11:00 a 12:00	316	2	0	0	6	0	3	0	0
12:00 a 13:00	253	0	0	0	0	0	4	0	2
13:00 a 14:00	187	0	4	0	0	0	0	2	0
14:00 a 15:00	112	0	6	0	0	0	2	0	2
15:00 a 16:00	157	0	0	0	4	0	1	0	0
16:00 a 17:00	224	2	2	0	6	2	4	2	0
17:00 a 18:00	232	0	4	0	6	0	0	4	0
18:00 a 19:00	191	3	6	4	8	0	3	4	1
19:00 a 20:00	123	0	4	6	6	0	0	0	0
20:00 a 21:00	87	0	0	4	2	1	0	2	1
21:00 a 22:00	68	0	0	4	0	0	0	4	0
22:00 a 23:00	52	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00 a 24:00	48	0	0	0	0	0	0	3	0
01:00 a 02:00	32	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 a 03:00	26	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 a 04:00	18	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 a 05:00	38	0	0	0	4	0	0	0	0
05:00 a 06:00	67	0	2	4	5	0	2	2	0
Total	2955	14	38	32	86	4	34	38	9

Fuente: Análisis del comportamiento recopilado del pavimento tramo el Portillo – Cruce el Valle

Autor: Gareca Cuellar Jorge Luis

Anexo 4

Cálculo del número de ejes equivalentes a 8.2 ton

Tráfico promedio diario

TPD (Vehículos/día) = 4007

Porcentaje de vehículos pesados

% V.P. = 8.19

Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas

$$W18 = \text{TPD} * \left(\frac{A}{100} \right) * \left(\frac{B}{100} \right) * 365 * \frac{(1+r)^n - 1}{Ln * (1+r)} * Fc$$

Donde:

W18 = Numero de ejes equivalentes a 8.2 ton

A = Porcentaje de vehículos pesados = 8.19

B = Porcentaje de vehículos pesados que emplea el carril de diseño = 0.5

R = Tasa anual de crecimiento de tránsito % = 10

n = Periodo de diseño = 10

Fc = Factor camión = 1.69

Tabla de porcentaje de vehículos pesados de acuerdo al número de carriles

Número de carriles	Porcentaje de vehículos pesados en el carril de diseño
2	50
4	45
6	40

Fuente: Ingeniería de pavimentos para carreteras. Montejo Fonseca Alfonso

W18 = **1696428** ejes equivalentes de 8.2 ton

Tarija, 23 de agosto de 2021
ABC/GTJ/RTE/2021-0394

Señorita
Stefany Del Castillo Amabobo
ESTUDIANTE
null
Presente.-

REF.: AUTORIZACIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS AL PAVIMENTO EN EL TRAMO CRUCE AL VALLE - VALLE DE LA CONCEPCIÓN

De nuestra mayor consideración:

De acuerdo a su solicitud realizada para realizar ensayos al pavimento en el Tramo Cruce al Valle - Valle de la Concepción, para el proyecto de grado ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS BASADOS EN ENSAYOS ACELERADOS DE PAVIMENTOS Y DEFLEXION, que consiste en la medición del CBR in SITU.

Se autoriza para la realización de los ensayos mencionados, para la ejecución de los trabajos se deben cumplir con todas las medidas de seguridad y la normativa de la ABC, para lo cual se debe coordinar con el Supervisor Vial del Tramo TJ03 Ing. Oscar Vásquez Gutiérrez Cel. 67396259.

En caso de presentarse problemas en la plataforma posteriores, en los lugares de la realización de los ensayos es responsabilidad de su persona en corregirlos.

Sin otro particular nos despedimos con las consideraciones más distinguidas.


Ing. Eyber López López
**INGENIERO RESPONSABLE
DE TRAMO I**


Ing. Eyber López López
INGENIERO RESPONSABLE DE TRAMO I
REGIONAL TARIJA

C.C.Arch.
ELL


VºBº Ing. Marco Antonio Ortiz Tapia
GERENTE REGIONAL TARIJA


Ing. Marco A. Ortiz Tapia
GERENTE REGIONAL TARIJA a.i.
GERENCIA REGIONAL TARIJA
Administradora Boliviana de Carreteras

TJ/2021-01303

Integra
a Bolivia
Une a los
bolivianos

OFICINA CENTRAL (La Paz): Av. Mariscal Santa Cruz, Edif. Centro de Comunicaciones La Paz, piso N° 8, Teléfono: (2) 2159800 | REGIONAL LA PAZ Dirección: Av. 20 de Octubre N° 1829 y Landaeta, Teléfonos: (2) 2154164 - 2495043, Fax: 2494544 | REGIONAL SANTA CRUZ Dirección: Av. Roca y Coronado N° 950 entre 3er. y 4to. Anillo frente Hotel Buganvillas Teléfonos: (3) 3547031 - 3123004 - 3123006, Fax: 3579157 | REGIONAL COCHABAMBA Dirección: Av. Villazón Km. 1 1/2 N° 2345 Edificio SNC 3er. Piso, Teléfonos: (4) 4492264 - 4492265 - 4492266 | REGIONAL ORURO Dirección: Av. Prolongación Velasco Galvarro N° 5 esq. Sargento Flores, Teléfonos: (2) 5282677, Fax: (2) 5113562 | REGIONAL TARIJA Dirección: Av. Julio Arce esq. Manuel Álvarez Barrio SENAC, Zona Tabladita, Teléfonos: (4) 6661459, Fax: (4) 6647918 | REGIONAL CHUQUISACA Dirección: Calle Urcullo N° 49 Zona Central, Teléfonos: (4) 6437942, Fax: 6455407 | REGIONAL POTOSÍ Dirección: Calle Wenceslao Alba, Pasaje Superior s/n Teléfonos: (2) 6230171, Fax: 6122856 | REGIONAL BENI Dirección: Calle Lázaro de Rivero esq. Bateón N° 190, Teléfonos: (3) 4621677 - 4628923, Fax: 4620918 | REGIONAL PANDO Dirección: Av. Cívica N° 42 Barrio Miraflores, Teléfonos: Telf/Fax (3) 8423560 - 8423885.

