

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS  
CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**

**Asfalto Modificado**

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS		Método utilizado	Valores Obtenidos en Laboratorio		
			1.5% BUMPER	2.0% BUMPER	3.0% BUMPER
Peso Específico [gr/cm <sup>3</sup> ]		ASTM D -70	1.010	1.010	1.010
Penetración a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]		ASTM D -5	54	48	48
Punto de Inflamación (Vaso abierto de Cleveland) [°C]		ASTM D-92	233	234	234
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 cm/min. [cm]		ASTM D-113	61.8	42.8	28.4
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]		ASTM D-36	52.2	54.2	55.8
Ensayo sobre la Película Delgada Rotatoria (RTFOT)	Perdida por Calentamiento [%]	ASTM D-1754	0.042	0.033	0.034
	Penetración [%] min. del Original	ASTM D-5	67	73	69
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	61.2	63.0	65.3
Recuperación elástica [%]		ASTM D-6084	11.0	11.8	11.5
Punto de Fragilidad Fraass [°C]		IP 80-53	-20.8	-22.3	-23.8
Ensayo de la Mancha		AASTHO T-102	Negativo	Negativo	
Índice de Penetración			-0.47	-0.28	0.03
Viscosidad Rotacional Brookfield, 135°C (cP)		ASTM D-4402	758	793	938
Viscosidad Rotacional Brookfield, 155°C (cP)		T72 D88	208	240	290
Viscosidad Rotacional Brookfield, 175°C (cP)		T72 D88	83	99	125
Estabilidad al Almacenamiento	Penetración a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]				
	Superior	ASTM D-5	52	48	42
	Inferior		52	50	46
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]				
	Superior	ASTM D-36	51.8	54.0	58.3
	Inferior		50.8	52.2	55.0

**Tabla 37: Resultados de los Ensayos Realizados en Laboratorio a Asfaltos Modificados**

*Fuente:* Elaboración propia



## CAPÍTULO VI

# **DISEÑO, ELABORACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

## 6 CAPÍTULO VI: DISEÑO, ELABORACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

### 6.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo se dedica a detallar los parámetros y procedimientos empleados para el diseño y elaboración de mezclas asfálticas en caliente.

En mezclas asfálticas tanto los agregados pétreos como los asfaltos presentan características diferentes y estos tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento, por eso los materiales deben cumplir las especificaciones establecidas en las normas.

Los materiales para la elaboración de las mezclas asfálticas del presente proyecto de grado cumplieron con las especificaciones establecidas en las normas, las cuales se verán en este capítulo.

Para el diseño de mezclas asfálticas existen varios métodos, los cuales fueron mencionados en el Capítulo III, para establecer un diseño óptimo en laboratorio. Siendo los más utilizados el Marshall y Superpave. Para la elaboración del proyecto, el método de diseño elegido es el método Marshall por su amplia utilización a nivel mundial y la accesibilidad, además se cuenta con el equipo, en el Instituto Ensayo de Materiales I.E.M.

Las planillas de cálculo y obtención de datos de la elaboración y diseño de mezclas asfálticas se detallan en anexos.

### 6.2 ESPECIFICACIONES DE LA ESTRUCTURA GRANULOMÉTRICA

La gradación de los agregados pétreos es una de las propiedades más importantes que tiene esta, la cual afecta a casi todas las propiedades de una mezcla asfáltica en caliente. El método Marshall, utiliza una gráfica semi-logarítmica para definir la granulometría permitida, creando una zona de aceptación limitada.

La curva granulométrica debe cumplir especificaciones correspondientes, establecidas en las normas como: Instituto de Asfaltos, Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), la norma ASTM D3515 y especificaciones de Superpave.

Especificaciones granulométricas según el Instituto del Asfalto:

Designación de la Mezcla Usando el Tamaño Máximo Nominal de Agregados						
Tamaño de Tamiz		37.5 mm	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm
[mm]	[in.]	(1 ½ in.)	(1 in.)	(¾ in.)	(½ in.)	(⅜ in.)
50.00	2"	100	-	-	-	-
37.50	1 ½"	90 a 100	100	-	-	-
25.00	1"	-	90 a 100	100	-	-
19.00	¾"	56 a 80	-	90 a 100	100	-

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS  
CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**

12.50	½"	-	56 a 80	-	90 a 100	100
9.50	3/8"	-	-	56 a 80	-	90 a 100
4.75	Nº 4	23 a 53	29 a 59	35 a 65	44 a 74	55 a 85
2.36	Nº 8*	15 a 41	19 a 45	23 a 49	28 a 58	32 a 67
1.18	Nº 16	-	-	-	-	-
0.60	Nº 30	-	-	-	-	-
0.30	Nº 50	4 a 16	5 a 17	5 a 19	5 a 21	7 a 23
0.15	Nº 100	-	-	-	-	-
0.075	Nº 200**	0 a 5	1 a 7	2 a 8	2 a 10	2 a 10
Cemento Asfáltico, % en peso del total de la mezcla (***)		3 a 8	3 a 9	4 a 10	4 a 11	5 a 12

**Tabla 38: Especificaciones Granulométricas Según el Instituto del Asfalto**

**Fuente:** Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute.

\*Cuando se considera las características de la graduación total de una mezcla asfáltica, resulta ser que la cantidad de material que pasa el tamiz de 2.36 mm (Nº .8) es un punto importante y conveniente de control de campo entre los agregados finos y los agregados gruesos. Las graduaciones que se aproximan a la cantidad máxima permitida que debe pasar por el tamiz de 2.36 mm resulta en superficies de pavimento con textura relativamente fina.

Las graduaciones que se aproximan al valor mínimo permitido resultaran en superficies con textura relativamente áspera.

\*\*El material que pasa el tamiz de 0.075 mm (Nº 200) puede consistir en partículas finas de agregados o relleno mineral, o de ambos. Este material deberá estar libre de materia orgánica y de partículas y de arcilla, y deberá tener un índice de plasticidad no mayor a 4 cuando se use el Método D 423 o D 424 de la ASTM.

\*\*\* La cantidad de cemento asfáltica está dada en porcentaje por peso de la mezcla total. La amplia diferencia en pesos específico de varios agregados, así como la diferencia en absorción, resulte en el amplio margen de cantidad de asfalto requerida. Esta cantidad de asfalto requerida deberá determinarse usando las pruebas adecuadas del laboratorio, o con base en la experiencia previa con mezclas similares, o mediante una combinación de ambos métodos.

**Especificaciones granulométricas según Administradora Boliviana de Carreteras**

REQUISITOS DE GRADACIÓN PARA LA MEZCLA (ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS)									
TAMIZ	Abertura [mm]	GRAD. A		GRAD. B		GRAD. C		GRAD. D	
		Limites	Toler.	Limites	Toler.	Limites	Toler.	Limites	Toler.
2"	50,00	100	-	-	-	-	-	-	-
1 ½"	37,50	97 – 100	-	100	-	-	-	-	-
1"	25,00	-	-	97 – 100	-	100	-	-	-
¾"	19,00	66 – 80	[5]	-	-	97 – 100	-	100	-
½"	12,50	-	-	-	-	76 – 88	[5]	97 – 100	-
3/8"	9,50	48 – 60	[6]	53 – 70	[6]	-	-	-	-

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS  
CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**

Nº 4	4,75	33 – 45	[5]	40 – 52	[6]	49 – 59	[7]	57 – 69	[6]
Nº 8	2,36	25 – 33	[4]	25 – 39	[4]	36 – 45	[6]	41 – 49	[6]
Nº 40	0.42	9 – 17	[3]	10 – 19	[3]	14 – 22	[3]	14 – 22	[3]
Nº 200	0,075	3 – 8	[2]	3 – 8	[2]	3 – 7	[2]	3 – 8	[2]
Bitumen Soluble En CS2 (+) %		4.0 – 7.0		4.5 – 7.5		4.5 – 9.0		4.5 – 9.0	

**Tabla 39: Especificaciones granulométricas según Administradora Boliviana de Carreteras**

*Fuente:* Administradora Boliviana de Carreteras

La curva granulométrica, seleccionada como curva de trabajo, podrá presentar las siguientes tolerancias máximas:

TAMIZ	% QUE PASA EN PESO
3/8" - 1½"	± 7
Nº.40 - Nº. 4	± 5
Nº. 80	± 3
Nº. 200	± 2

**Tabla 40: requisitos de gradación para la mezcla (tolerancia)**

*Fuente:* Administradora Boliviana de Carreteras

Especificaciones granulométricas según la norma ASTM D3515

TAMAÑO DE TAMIZ		DESIGNACIÓN DE LA MEZCLA USANDO EL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO					
		37.50 mm	25.00 mm	19.00 mm	12.50 mm	9.50 mm	4.75 mm
ASTM	Abertura	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	Nº 4
	[Mm]	Gradaciones Par Mezclas de Agregados (Gruesos, Fino, Filler)					
2 ½"	63.00	-	-	-	-	-	-
2"	50.00	100	-	-	-	-	-
1 ½"	37.50	90 – 100	100	-	-	-	-
1"	25.00	-	90 – 100	100	-	-	-
¾"	19.00	56 – 80	-	90 – 100	100	-	-
½"	12.50	-	56 – 80	-	90 – 100	100	-
3/8"	9.50	-	-	56 – 80	-	90 – 100	100
Nº 4	4.75	23 – 53	29 – 59	35 – 65	44 – 74	55 – 85	80 – 100
Nº 8	2.36	15 – 41	19 – 45	23 – 49	28 – 58	32 – 67	65 – 100
Nº 16	1.18	-	-	-	-	-	40 – 80
Nº 30	0.60	-	-	-	-	-	25 – 65
Nº 50	0.30	4 – 16	5 – 17	5 – 19	5 – 21	7 – 23	7 – 40
Nº 100	0.15	-	-	-	-	-	3 – 20
Nº 200	0.075	0 – 6	1 – 7	2 – 8	2 – 10	2 – 10	2 – 10



**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**

Cemento Asfáltico, % en Peso del Total de la Mezcla	3 – 8	3 – 9	4 – 10	4 – 11	5 – 12	6 – 12
---	-------	-------	--------	--------	--------	--------

**Tabla 41: Especificaciones Granulométricas Según La Norma ASTM D3515**

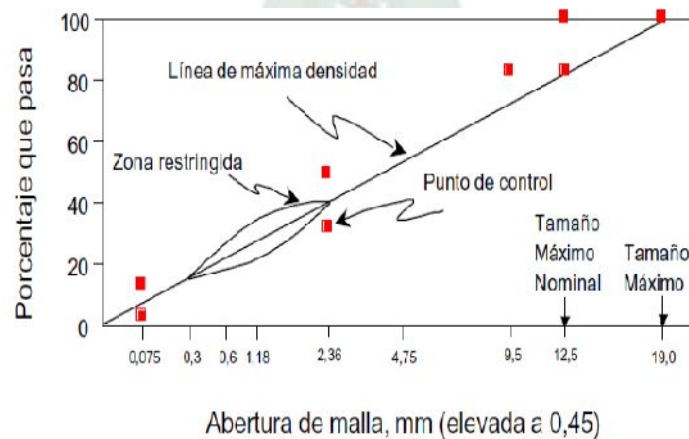
*Fuente:* Especificaciones ASTM para mezclas asfálticas en caliente (ASTM – D3515)

Especificaciones granulométricas según SUPERPAVE:

TAMAÑO DE TAMIZ		PUNTOS DE CONTROL SUPERPAVE				
		37.50 mm	25.00 mm	19.00 mm	12.50 mm	9.50 mm
[Plg.]	Abertura	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"
	[mm]	<b>Porcentaje Total Que Pasa</b>				
2"	50.00	100	-	-	-	-
1 ½"	37.50	90 – 100	100	-	-	-
1"	25.00	-	90 – 100	100	-	-
¾"	19.00	-	-	90 – 100	100	-
½"	12.50	-	-	-	90 – 100	100
3/8"	9.50	-	-	-	-	90 – 100
Nº 8	2.36	15 – 41	19 – 45	23 – 49	28 – 58	32 – 67
Nº 200	0.075	0 – 6	1 – 7	2 – 8	2 – 10	2 – 10
TAMIZ (Finos)		Zona Restringida				
Nº 4	4.75	34.7	39.5	-	-	-
Nº 8	2.36	23.3 – 27.3	26.8 – 30.8	34.6	39.1	47.2
Nº 16	1.18	15.5 – 21.5	18.1 – 24.1	22.3 – 28.3	25.6 – 31.6	31.6 – 37.6
Nº 30	0.60	11.7 – 15.7	13.6 – 17.6	16.7 – 20.7	19.1 – 23.1	23.5 – 27.5
Nº 50	0.30	10 – 10	11.4 – 11.4	13.7 – 13.7	15.5 – 15.5	18.7 – 18.7

**Tabla 42: Designaciones Propuestas en la Metodología SUPERPAVE**

*Fuente:* SUPERPAVE Specifications



**Figura 39: Límites Para las Granulometrías Superpave (Grafica Fuller)**

*Fuente:* Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente

### 6.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA GRANULOMÉTRICA

Para el diseño de la mezcla se determinó una combinación adecuada con las granulometrías individuales de los materiales, que cumple con la mayoría de las normas para un tamaño máximo nominal de 3/4".

TAMIZ	Abertura [mm]	% QUE PASA				PROPORCIONES				% Que Pasa Final
		Grava	Gravilla	Arena	Fino	21.0%	46.0%	5.0%	28.0%	
1"	25.4	100.0	100.0	100.0	100.0	21.0	46.0	5.0	28.0	100.0
3/4"	19.05	56.1	100.0	100.0	100.0	11.8	46.0	5.0	28.0	90.8
1/2"	12.7	12.5	100.0	100.0	100.0	2.6	46.0	5.0	28.0	81.6
3/8 "	9.5	2.6	94.1	100.0	100.0	0.5	43.3	5.0	28.0	76.8
Nº 4	4.75	0.6	40.8	93.6	100.0	0.1	18.8	4.7	28.0	51.6
Nº 8	2.36	0.4	3.2	82.1	100.0	0.1	1.5	4.1	28.0	33.7
Nº 10	2	0.3	0.9	79.4	91.5	0.1	0.4	4.0	25.6	30.1
Nº 40	0.42	0.2	0.8	63.3	49.1	0.0	0.4	3.2	13.7	17.3
Nº 50	0.3	0.2	0.7	61.2	35.9	0.0	0.3	3.1	10.0	13.5
Nº 80	0.18	0.2	0.6	58.9	24.7	0.0	0.3	2.9	6.9	10.2
Nº 200	0.075	0.1	0.5	56.7	13.4	0.0	0.2	2.8	3.7	6.8

Tabla 43: Combinación de Agregados Pétreos

Fuente: Elaboración propia

Con la tabla anterior se determinó las siguientes curvas granulométricas, que cumple con las especificaciones establecidas en las normas correspondientes, de los agregados empleados en el proyecto:

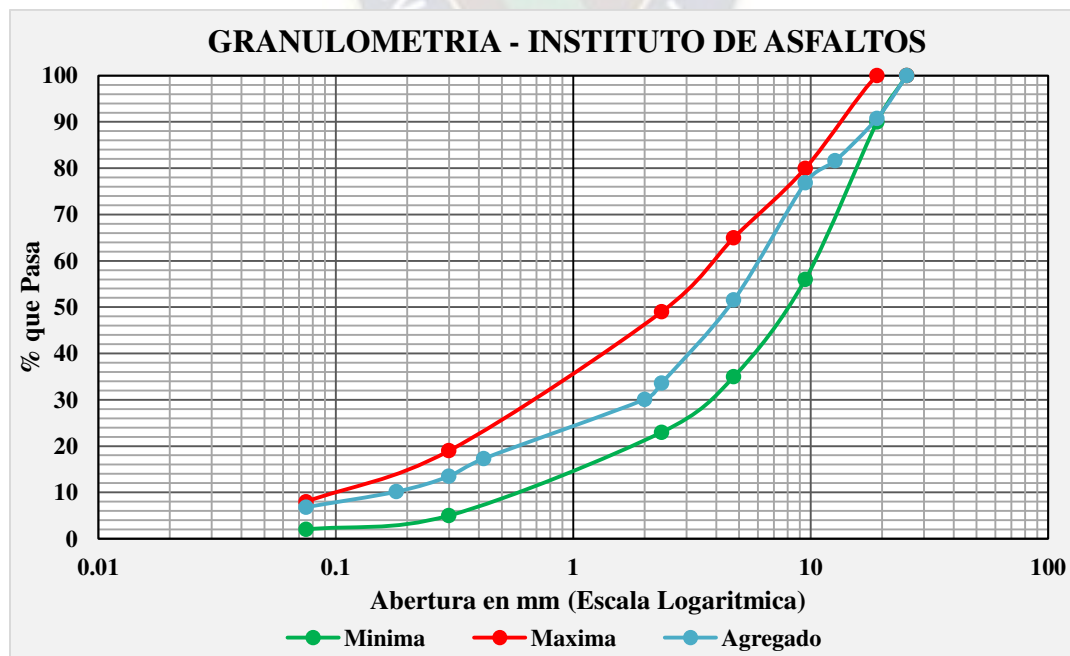


Figura 40: Curva Granulométrica – Instituto de Asfaltos

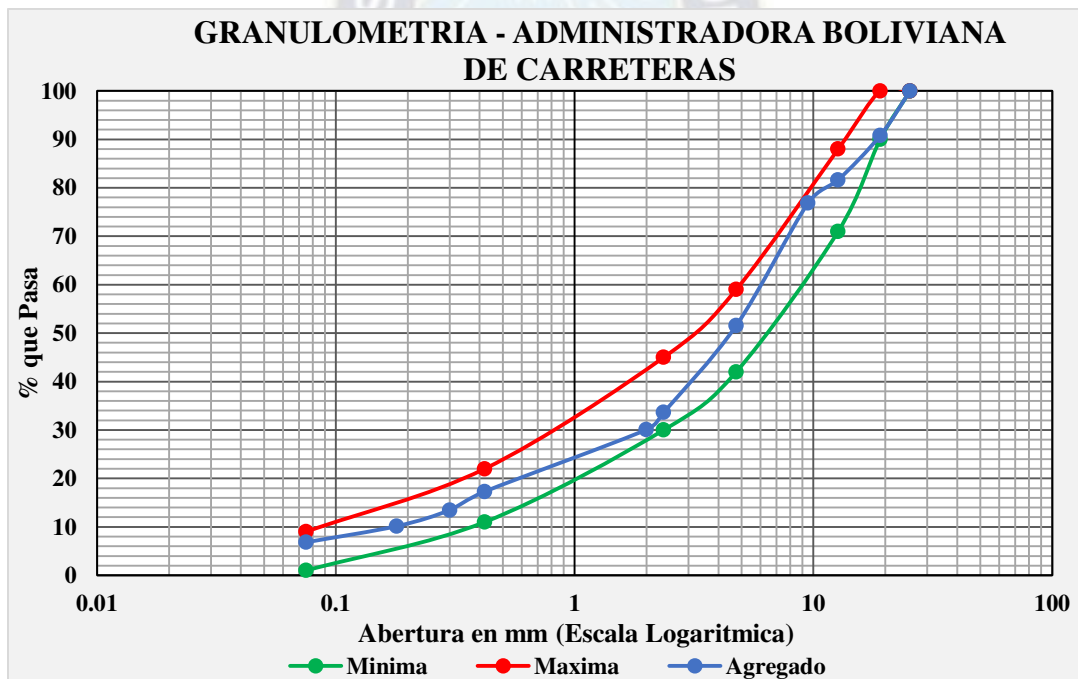
Fuente: Elaboración propia

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS  
CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**

ESPECIFICACIÓN INSTITUTO DE ASFALTOS							
TAMIZ	Abertura [mm]	% que pasa	Mín.	Máx.	Verificación	Tolerancia	Verificación con Tolerancia
1"	25.40	100.00	100	100	CUMPLE	---	CUMPLE
3/4"	19.05	90.8	90	100	CUMPLE	---	CUMPLE
1/2"	12.70	81.6	---	---	---	---	---
3/8 "	9.50	76.8	56	80	CUMPLE	---	---
Nº 4	4.75	51.6	35	65	CUMPLE	7	CUMPLE
Nº 8	2.36	33.7	23	49	CUMPLE	5	CUMPLE
Nº 10	2.00	30.1	---	---	---	---	---
Nº 40	0.42	17.3	---	---	---	---	---
Nº 50	0.30	13.5	5	19	CUMPLE	3	CUMPLE
Nº 80	0.18	10.2	---	---	---	---	---
Nº 200	0.075	6.8	2	8	CUMPLE	2	CUMPLE

**Tabla 44: Especificación del Instituto de Asfalto**

*Fuente:* Elaboración propia



**Figura 41: Curva Granulométrica – Administradora Boliviana de Carreteras**

*Fuente:* Elaboración propia

VERIFICACIÓN ABC							
TAMIZ	Abertura [mm]	% que pasa	Mínima	Máxima	Verificación	Tolerancia	Verificación con Tolerancia
1"	25.4	100.00	100	100	CUMPLE	-	CUMPLE
3/4"	19.05	90.8	97	100	NO CUMPLE	7	CUMPLE

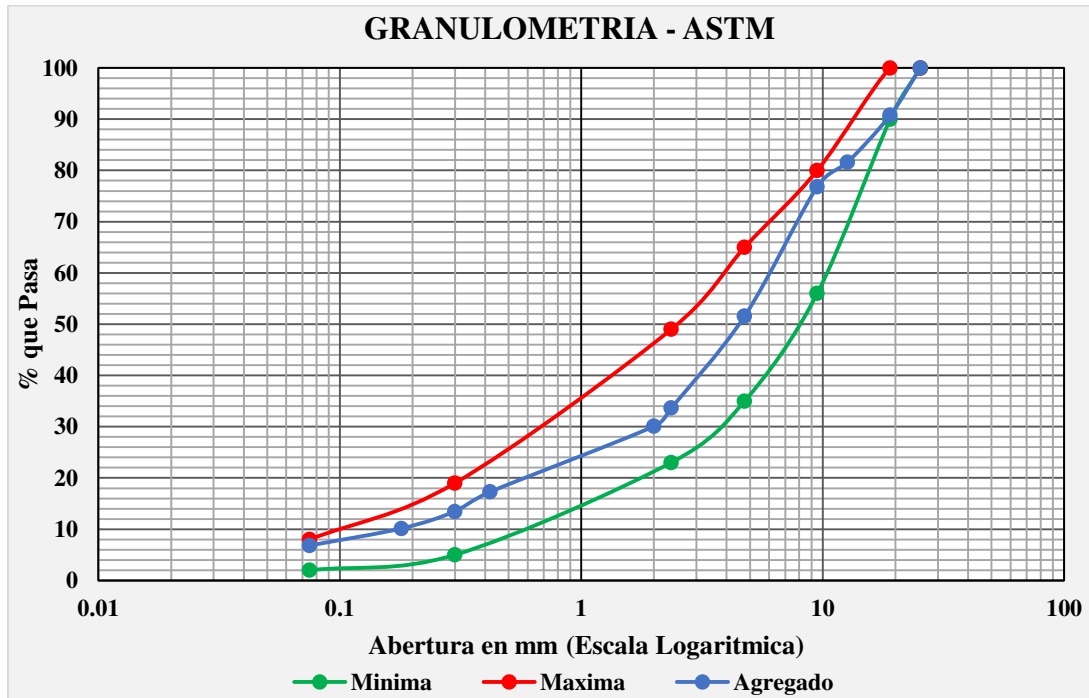


**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**

1/2"	12.7	81.6	76	88	CUMPLE	7	CUMPLE
3/8"	9.5	76.8	-	-	-	-	-
N° 4	4.75	51.6	49	59	CUMPLE	5	CUMPLE
N° 8	2.36	33.7	36	45	NO CUMPLE	6	CUMPLE
N° 40	0.42	17.3	14	22	CUMPLE	3	CUMPLE
N° 200	0.075	6.8	3	7	CUMPLE	2	CUMPLE

**Tabla 45: Verificación De La Administradora Boliviana De Carreteras**

*Fuente:* Elaboración propia



**Figura 42: Curva Granulométrica – ASTM D 3515**

*Fuente:* Elaboración propia

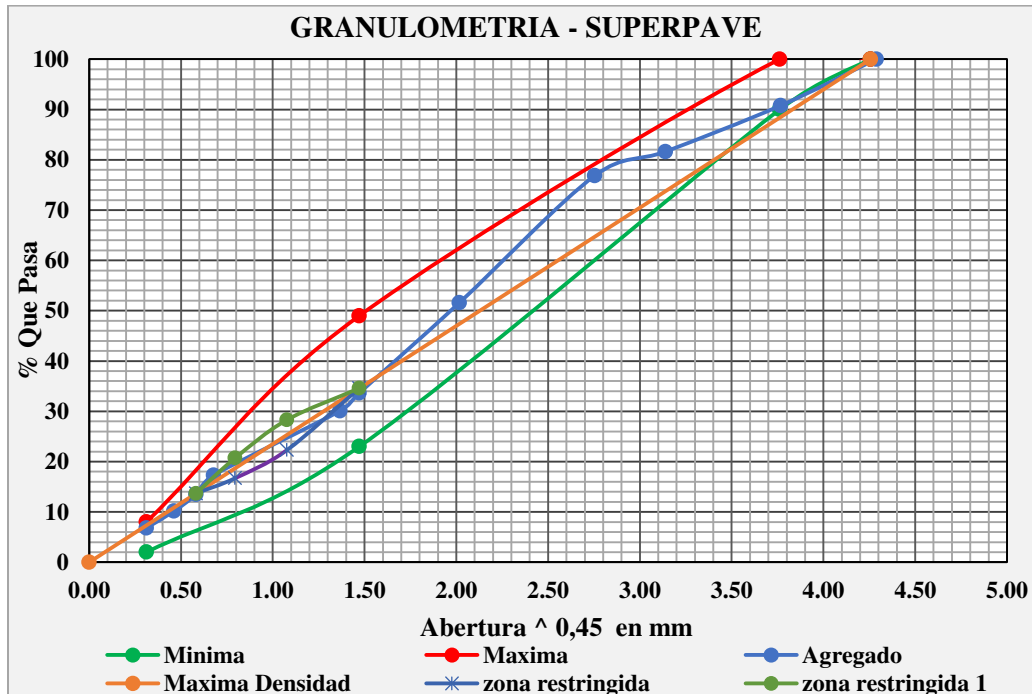
ESPECIFICACIÓN ASTM					
TAMIZ	Abertura [mm]	% que pasa	Mínima	Máxima	Verificación
1"	25.4	100.00	100	100	CUMPLE
3/4"	19.05	90.8	90	100	CUMPLE
1/2"	12.7	81.6	-	-	---
3/8 "	9.5	76.8	56	80	CUMPLE
N° 4	4.75	51.6	35	65	CUMPLE
N° 8	2.36	33.7	23	49	CUMPLE
N° 10	2	30.1	---	---	---
N° 40	0.42	17.3	---	---	---
N° 50	0.3	13.5	5	19	CUMPLE

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**

N° 80	0.18	10.2	---	---	---
N° 200	0.075	6.8	2	8	CUMPLE

**Tabla 46: Verificación de la Granulometría Mediante la Norma ASTM D3515**

*Fuente:* Elaboración propia



**Figura 43: Curva Granulometría – Especificación SUPERPAVE**

*Fuente:* Elaboración propia

ESPECIFICACIÓN SUPERPAVE						
TAMIZ	Abertura [mm]	Abertura <sup>0,45</sup>	% que pasa	Puntos de Control		Verificación
				Mínima	Máxima	
1"	25.4	4.29	100.00	100	---	---
3/4"	19.05	3.77	90.8	90	100	CUMPLE
1/2"	12.7	3.14	81.6	---	---	---
3/8 "	9.5	2.75	76.8	---	---	---
N° 4	4.75	2.02	51.6	---	---	---
N° 8	2.36	1.47	33.7	23	49	CUMPLE
N° 10	2	1.37	30.1	---	---	---
N° 30	0.6	0.79	---	---	---	---
N° 40	0.42	0.68	17.3	---	---	---
N° 50	0.3	0.58	13.5	---	---	---
N° 80	0.18	0.46	10.2	---	---	---
N° 200	0.075	0.31	6.8	2	8	CUMPLE

**Tabla 47: Verificación de la Granulometría – Especificación SUPERPAVE**

*Fuente:* Elaboración propia

Como se puede observar la combinación de agregados pétreos obtenida es adecuado y cumple con las especificaciones, en la tabla siguiente se muestra la combinación empleada en el proyecto:

<b>COMBINACIÓN DE AGREGADOS</b>			
<b>Grava</b>	<b>Gravilla</b>	<b>Arena</b>	<b>Fino</b>
<b>21.00%</b>	<b>46.00%</b>	<b>5.00%</b>	<b>28.00%</b>

**Tabla 48: Combinación de Agregados Pétreos**

*Fuente:* Elaboración propia

## **6.4 TEMPERATURA DE MEZCLADO Y COMPACTADO**

Las temperaturas de mezclado y compactación se pueden determinar mediante el nomograma de heukelom con la viscosidad dinámica y cinemática, o con la viscosidad broockfield, utilizando el mismo nomograma.

Para el proyecto se utilizó las especificadas en la literatura en el caso de asfalto convencional y para el asfalto modificado, la temperatura al cual el material bumper se funde (se vuelve fluida). Las temperaturas de mezclado y compactación son las siguientes para el proyecto:

<b>MUESTRA</b>	<b>T °C de Mezclado</b>	<b>T °C de Compactación</b>
Asfalto Convencional 60/70	150-165°C	145°C
Asfalto Modificado	170°C	160°C

**Tabla 49: Temperaturas de Mezclado y Compactación**

*Fuente:* Elaboración propia

## **6.5 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA**

Para la elaboración de las mezclas asfálticas del proyecto, se realizó la caracterización de los materiales correspondientes, y se realizó el diseño de la mezcla para el asfalto convencional (original), y modificados, este último para los porcentajes correspondientes.

### **6.5.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO**

Para determinar el contenido óptimo de asfalto para una mezcla particular de agregado es necesario preparar una serie de probetas con distintos contenidos de asfalto, de modo que las curvas de datos muestren un valor bien definido. El contenido de asfalto se incrementará en 0.5 puntos porcentuales con al menos dos contenidos de asfalto bajo y sobre el óptimo, estas son 4.5; 5.0; 5.5; 6.0; 6.5; 7.0 expresado en porcentaje.

El recipiente en el que se realiza la mezcla fue manchado con una mezcla de prueba para evitar la pérdida de ligante asfáltico y finos adheridos al recipiente.

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS  
CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**

Para determinar el peso de cemento asfáltico para los porcentajes correspondientes en la mezcla se realizó por medio de la siguiente expresión:

$$\text{Peso cemento asfáltico} = \frac{\text{Peso árido} * \% \text{ cemento asfáltico}}{100 - \% \text{ cemento asfáltico}}$$

La tabla siguiente, muestra los valores teóricos en peso para cada porcentaje de asfalto convencional y modificado.

% C. A.	Peso Agregado	Peso del C.A.	Peso Total de la Briqueta
4.5	1100.0	51.8	1151.8
5.0	1100.0	57.9	1157.9
5.5	1100.0	64.0	1164.0
6.0	1100.0	70.2	1170.2
6.5	1100.0	76.5	1176.5
7.0	1100.0	82.8	1182.8

**Tabla 50: Determinación de Cemento Asfáltico Para una Briqueta**

*Fuente:* Elaboración propia

### 6.5.2 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE PROBETAS

Para cada muestra en estudio se realizó una serie de probetas con 6 diferentes porcentajes de cemento asfáltico. El cual se muestra a continuación:

CANTIDAD DE BRIQUETAS ELABORADAS							
MUESTRA	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO						TOTAL
	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%	
Asfalto Convencional	3	3	3	3	3	3	18
Asfalto Modificado 1.5%	3	3	3	3	3	3	18
Asfalto Modificado 2.0%	3	3	3	3	3	3	18
Asfalto Modificado 3.0%	3	3	3	3	3	3	18
<b>TOTAL, DE BRIQUETAS =</b>							<b>72</b>

**Tabla 51: Cantidad de Briquetas Elaboradas**

*Fuente:* Elaboración propia

### 6.5.3 PREPARACIÓN DEL EQUIPO, MOLDE Y MARTILLO

Se realiza de manera adecuada la limpieza del molde con su collarín y el martillo de compactación para eliminar cualquier contaminante existente, y se lleva al horno a una temperatura determinada superior a 95°C con el objetivo de que cuando la muestra a compactar se coloque, esta no se enfrié.

Y se prepara papel filtro cortado a medida para la parte inferior y superior del molde que serán colocadas estas respectivamente al momento de colocar la muestra en el molde para que la misma no se adhiera al momento de compactar en el equipo de compactación.



**Figura 44: Preparación del Equipo, Molde y Martillo**

*Fuente:* Elaboración propia

#### 6.5.4 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE GOLPES PARA LA COMPACTACIÓN DE BRIQUETAS

La cantidad de golpes por probeta está en función al tipo de tráfico al que está siendo diseñada, como se muestra en la tabla siguiente:

Propiedades Marshall		Tránsito De Diseño					
		LIGERO		MEDIO		PESADO	
		Carpeta y base		Carpeta y base		Carpeta y base	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
N° de golpes por cara		35		50		75	
Estabilidad Marshall	[N]	3336		5338		8006	
	[lb]	750		1200		1800	
	[kg]	340		544		817	
Flujo [0,01pulg]		8	20	8	18	8	16
Vacíos de aire en la mezcla [%]		3	5	3	5	3	5
Vacíos del agregado mineral [%]		Ver tabla 55					
Vacíos llenos con asfalto [%]		70	80	65	78	65	75

**Tabla 52: Criterio de Diseño de Mezclas Marshall.**

*Fuente:* Instituto del Asfalto, 2005



TIPO DE TRANSITO			
Características del Tránsito	ALTO	MEDIO	BAJO
Ejes Equivalente (E.E.) a 8.2Ton en el periodo de diseño	>20 millones	2 a 20 millones	<2 millones
Camiones/Día por Sentido	>800	100-800	<100
PDT por Sentido	>3000	500-3000	<500

**Tabla 53: Características de Tránsito Según el Tipo Tráfico**

*Fuente:* Apuntes de Pavimentos Volumen 2

Se diseñó las mezclas asfálticas para tránsito de diseño alto o pesado y según este se aplica 75 golpes por cara con el martillo de compactación.

### 6.5.5 PREPARACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

Con los datos de los porcentajes obtenidos de la combinación de los agregados se pesa muestras de 1100 g en recipientes separadas para cada probeta de ensayo, posteriormente se coloca al horno a una temperatura aproximada, 30°C sobre la temperatura de mezclado especificada.



**Figura 45: Preparación de los Agregados Pétreos**

*Fuente:* Elaboración propia

### 6.5.6 ELABORACIÓN DE LAS BRIQUETAS

Para la elaboración de briquetas se calienta el recipiente de mezclado y se incorpora el agregado y la muestra asfáltica. Se mezcla el agregado y asfalto tan rápido como sea posible hasta que todas las partículas de la mezcla queden recubiertas y uniformes a la temperatura de mezclado.

Se coloca la muestra en el molde de la mezcla, con la ayuda de una espátula, posteriormente se realiza un acomodamiento, 15 veces en el perímetro y 10 veces en el centro. Se controla la temperatura de compactado ya establecidos.



## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)

Las briquetas son compactadas mediante golpes de martillo Marshall de compactación. Ambas caras se cada briqueta recibe el mismo número de golpes, en este caso 75 y se deja enfriar al ambiente.



**Figura 46: Elaboración de Briquetas**

*Fuente:* Elaboración propia

### 6.5.7 DESMOLDE DE BRIQUETAS

Con la ayuda de una gata neumática se realiza el desmoldado de las briquetas tal como se muestra en la figura siguiente:



**Figura 47: Desmoldado de Briquetas**

*Fuente:* Elaboración propia

## 6.6 EVALUACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS (PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS)

### 6.6.1 CONTROL DE LAS DIMENSIONES DE LAS BRIQUETAS

Una vez desmoldado las briquetas se procede a la medición de las alturas y diámetros de las mismas con un vernier calibrado, se realizan tres lecturas para cada una de estas. La planilla de toma de datos se encuentra en los anexos.



**Figura 48: Determinación de las Dimensiones de Briquetas**

*Fuente:* Elaboración propia

### 6.6.2 PESO ESPECÍFICO (BULK) (ASTM D1188, AASHTO T166)

Una vez terminado de medir las propiedades geométricas se procede a determinar la densidad de las mismas tan pronto como el espécimen haya enfriado. El ensayo se realiza de acuerdo a lo especificado en la norma ASTM y AASHTO. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad – vacío.

El ensayo consiste en pesar las briquetas al aire (peso al aire), sumergidas en agua (peso en agua), y nuevamente al aire en estado SSS saturado superficialmente seca (peso al aire superficialmente seca).



**Figura 49: Determinación del Peso Específico (Bulk)**

*Fuente:* Elaboración propia

### **6.6.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA**

Para el análisis de estabilidad y fluencia, el procedimiento del ensayo consiste en sumergir el espécimen en un baño María a  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) de 30 a 40 minutos antes de la prueba.

Cuidadosamente se saca el espécimen de baño maría y secado, posterior a ello es ubicado y centrado en la mordaza inferior del equipo Marshall, se coloca la mordaza superior y se centra completamente en el aparato de carga.

Posteriormente, se aplica la carga de prueba al espécimen a una deformación constante de 51 mm por minuto, hasta que se produzca la falla. El punto de falla se define por la lectura de carga máxima obtenida. Se define la estabilidad Marshall como el número de Newtons (lb) necesarios para producir la falla de la probeta a  $60^{\circ}\text{C}$ .

Mientras la prueba de estabilidad está en proceso, se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir se deberá tomar la lectura, y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial, expresado en unidades de 0.25 mm (1/100”), será el valor del flujo Marshall.

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



**Figura 50: Estabilidad y Fluencia**

*Fuente:* Elaboración propia

### **6.6.4 ANÁLISIS DE DENSIDAD Y VACÍOS (ASTM D2041, AASHTO T209)**

Para cada serie de briquetas se realiza el análisis de densidad y vacíos. Para esto es necesario conocer previamente el valor de la Gravedad específica máxima de la mezcla sin vacíos (Gmm), el cual se obtiene a través de la ejecución del Ensayo de Rice, el que consiste en sumergir una mezcla sin compactar en un frasco de vidrio (picnómetro) aproximadamente 350gr, y extraerle el aire mediante la aplicación de un vacío parcial. Sin el resultado de este ensayo los valores que se calculasen de los vacíos serían solo aproximados. El resultado del ensayo de Rice es, por lo tanto, fundamental para la correcta determinación de los valores de  $V_a$ , VAM y VFA.





Figura 51: Ensayo de Rice

Fuente: Elaboración propia

## 6.7 ESPECIFICACIONES

Las especificaciones que se consideraran para la dosificación optima de asfaltos es:

Método Marshall Criterios De Diseño	Tránsito de Diseño					
	LIGERO		MEDIO		PESADO	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Nº de golpes por cara	35		50		75	
Estabilidad Marshall	[N]	3336		5338		8006
	[lb]	750		1200		1800
	[kg]	340		544		817
Flujo [0,01pulg]	8	20	8	18	8	16
Vacíos de aire en la mezcla [%]	3	5	3	5	3	5
Vacíos del agregado mineral [%]	Ver tabla de agregados					
Vacíos llenos con asfalto [%]	70	80	65	78	65	75

Tabla 54: Especificaciones de Diseño de Mezcla Marshall

Fuente: Instituto del Asfalto, 2005

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VAM), está definido en función del tamaño máximo nominal de agregado.

Máximo tamaño nominal	Porcentaje mínimo VMA
9,5	3/8"
12,5	1/2"
19	3/4"
25	1"

Tabla 55: % Mínimo de Vacíos del Agregado Mineral

Fuente: Instituto del Asfalto, 2005

Especificaciones especiales para zonas de altura, propuestas por el ingeniero Pablo del Aguila.

Método Marshall Criterio De La Mezcla	Tráfico Pesado	
	Mínimo	Máximo
Nº de golpes por cara	75	
Estabilidad Marshall [kg]	750	1500
Flujo [cm]	0.2	0.5
Vacíos de aire en la mezcla [%]	1	3
Vacíos del agregado mineral [%]	-	-
Vacíos llenos con asfalto [%]	-	-
Índice de Rigidez (Kg/Cm)	2000	2500
Contenido de Cemento	6	

**Tabla 56: Criterios de Diseño Para Zonas de Altura**

*Fuente:* Pablo Del Águila Rodríguez, 1999

## 6.8 DISEÑO MARSHALL

El diseño de Marshall realizado para las muestras tanto del cemento asfáltico convencional como del modificado se encuentran detallados en las planillas adjuntas en los anexos.

A continuación, se muestran los resultados del diseño Marshall, estos datos son necesarios para las gráficas de la misma, con los cuales se procedió posteriormente a graficar estos valores y su interpretación para la selección del contenido de asfalto más conveniente u “**óptimo**”.

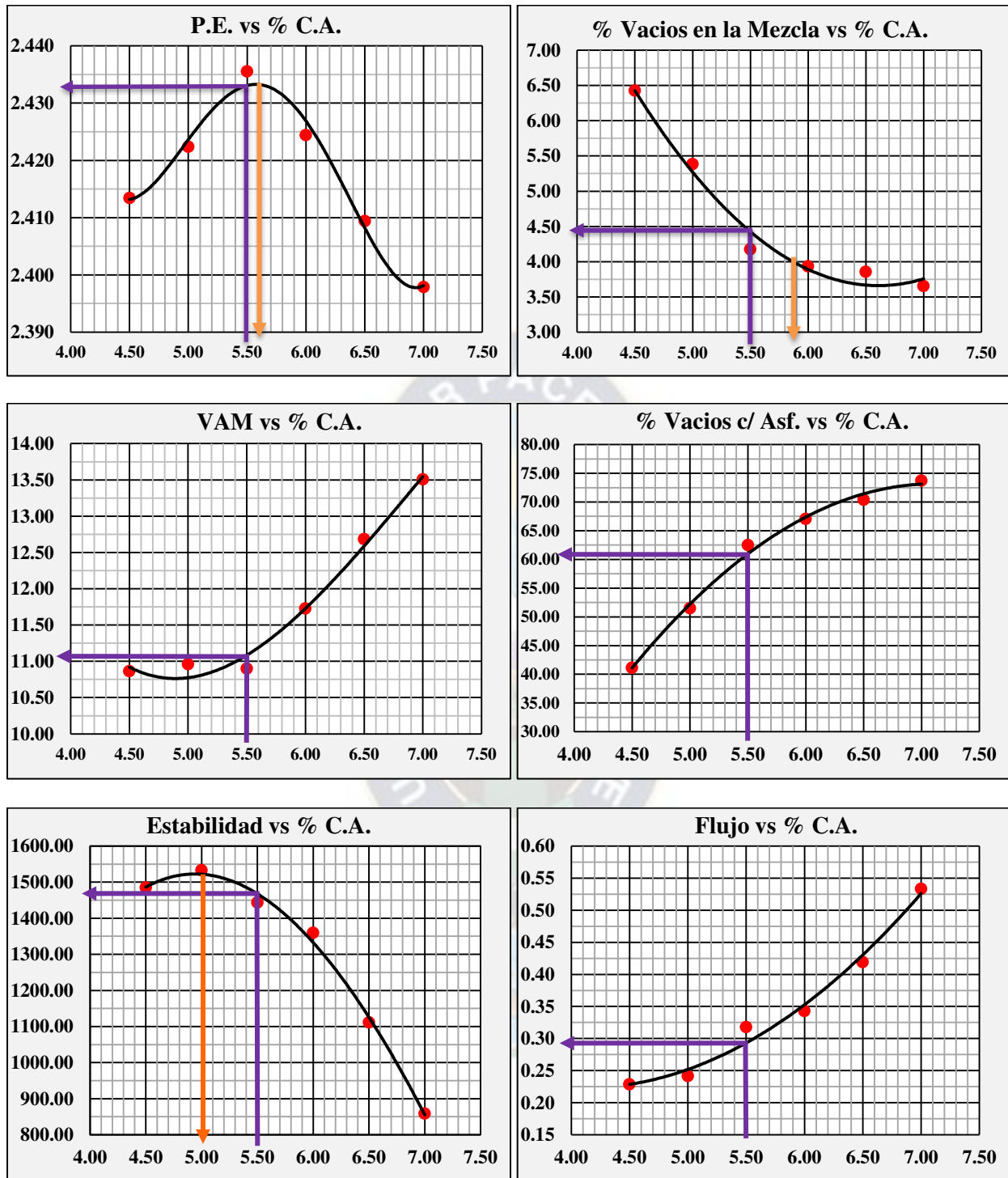
### 6.8.1 ASFALTO CONVENCIONAL ECOPETROL 60/70 COLOMBIANO

DATOS PARA LAS GRAFICAS DE MARSHALL						
% C.A.	PE Gsb Prom.	% de Vacíos			Est. Prom. [kg]	Flujo Prom. [cm]
		Mez. [%]	Agreg [%]	c/Asf. [%]		
<b>4.50</b>	2.413	6.427	10.864	40.843	1484.52	0.23
<b>5.00</b>	2.422	5.385	10.959	50.862	1532.85	0.24
<b>5.50</b>	2.436	4.180	10.900	61.656	1443.60	0.32
<b>6.00</b>	2.424	3.935	11.726	66.437	1359.38	0.34
<b>6.50</b>	2.409	3.858	12.683	69.585	1111.04	0.42
<b>7.00</b>	2.398	3.656	13.507	72.935	858.34	0.53

**Tabla 57: Datos Para las Gráficas Marshall**

*Fuente:* Elaboración propia

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**



**Gráfico 11: Datos Para las Gráficas Marshall**

*Fuente:* Elaboración propia

Realizando el análisis correspondiente a las gráficas se obtiene el porcentaje óptimo del asfalto y los resultados con este son los siguientes:



**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**

ASFALTO CONVENCIONAL							
CRITERIOS DE DISEÑO (TRAFICO PESADO - 75 golpes ambas cara)							
Peso Específico=	2.400	gr/cc			Especificaciones		Verificación
					Min	Max.	
Estabilidad=	1467.5 [kg]		3235.2 [lb]		1800 Lb	-	CUMPLE
% Vacíos en la mezcla=	4.43	%			3	5	CUMPLE
% Vacíos en el agreg.=	11.08	%			12	-	NO CUMPLE
% Vacíos con Asfalto=	60.27	%			65	75	NO CUMPLE
Flujo=	0.29	cm =	11.54	0,01"	8	16	CUMPLE
Contenido Óptimo de cemento asfáltico [%]					5.5		

**Tabla 58: Resultados de Criterios de Diseño**

*Fuente:* Elaboración propia

Se realizó el mismo procedimiento para el asfalto modificado a los porcentajes correspondientes del cual las planillas del cálculo y gráficas se encuentran en anexos.

### 6.8.2 ASFALTO MODIFICADO CON BUMPER

A continuación, se muestra los resultados obtenidos para el criterio de diseño para los porcentajes correspondientes de modificante.

MODIFICADO CON 1.5% BUMPER						
% C.A.	PE Gsb Prom.	% de Vacíos			Est. Prom. [kg]	Flujo Prom. [cm]
		Mez. [%]	Agreg [%]	c/Asf. [%]		
4.50	2.380	6.866	12.095	43.231	1250.95	0.24
5.00	2.411	4.979	11.386	56.274	1311.78	0.28
5.50	2.415	4.140	11.660	64.498	1294.73	0.32
6.00	2.416	3.429	12.045	71.531	1202.27	0.36
6.50	2.403	3.275	12.922	74.653	1118.31	0.42
7.00	2.389	3.194	13.843	76.929	1023.61	0.52
MODIFICADO CON 2.0% BUMPER						
4.50	2.388	6.089	11.808	48.436	1448.32	0.28
5.00	2.413	4.422	11.310	60.907	1657.84	0.28
5.50	2.415	3.674	11.668	68.511	1536.00	0.33
6.00	2.404	3.442	12.484	72.429	1360.02	0.38
6.50	2.382	3.663	13.687	73.241	1065.05	0.43
7.00	2.373	3.353	14.394	76.705	852.04	0.56
MODIFICADO CON 3.0% BUMPER						
4.50	2.388	3.159	11.804	73.238	1492.70	0.27
5.00	2.391	2.377	12.118	80.383	1565.63	0.28
5.50	2.392	1.659	12.482	86.707	1473.61	0.30
6.00	2.396	0.870	12.775	93.190	1464.38	0.38
6.50	2.390	0.436	13.371	96.739	1281.23	0.44
7.00	2.381	0.204	14.127	98.556	1032.62	0.52

**Tabla 59: Datos Para las Gráficas de Marshall de Asfalto Modificado**

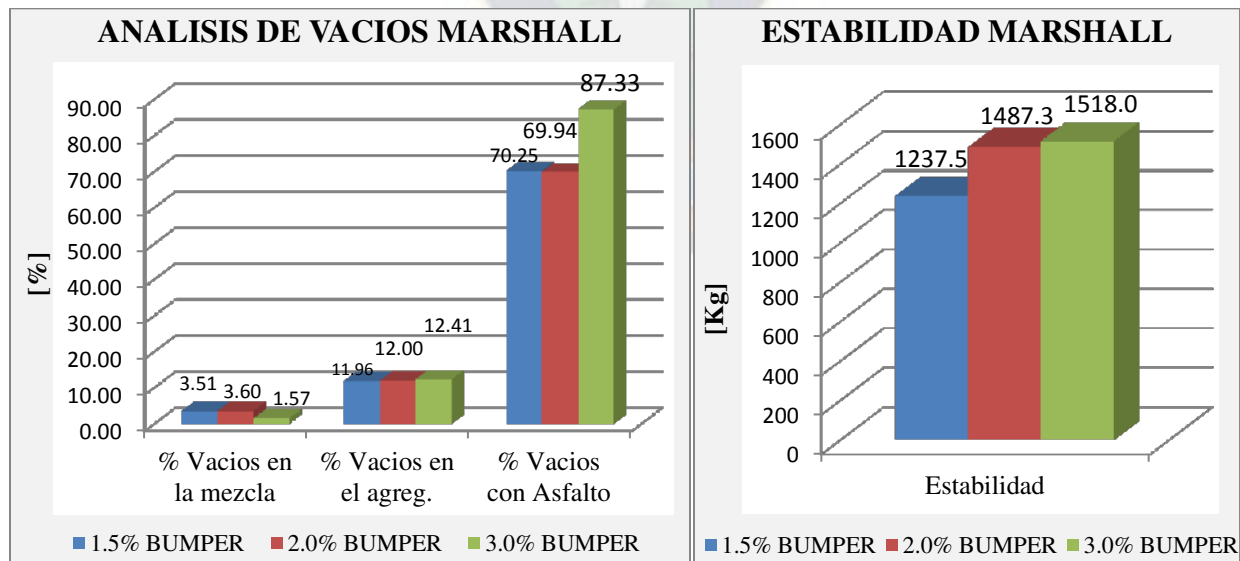
*Fuente:* Elaboración propia

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**

CRITERIOS DE DISEÑO (Tráfico Pesado - 75 golpes ambas cara)						
ASFALTO MODIFICADO CON 1.5% BUMPER						
Peso Específico	2.419	gr/cc		Especificaciones		Verificación
				Min	Max.	
Estabilidad	1237.5 [kg]		2728.2 [lb]	1800 [lb]		CUMPLE
% Vacíos en la mezcla	3.51	%		3	5	CUMPLE
% Vacíos en el agreg.	11.96	%		12	-	CUMPLE
% Vacíos con Asfalto	70.25	%		65	75	CUMPLE
Flujo	0.35	cm =	13.740   0.01"	8	16	CUMPLE
Contenido Óptimo de cemento asfáltico [%]				5.9		
ASFALTO MODIFICADO CON 2.0% BUMPER						
Peso Específico=	2.406	gr/cc		Min	Max.	Verificación
Estabilidad=	1487.3 [kg]		3278.9 [lb]	1800[lb]	---	CUMPLE
% Vacíos en la mezcla	3.60	%		3	5	CUMPLE
% Vacíos en el agreg.	12.00	%		12	---	CUMPLE
% Vacíos con Asfalto	69.94	%		65	75	CUMPLE
Flujo	0.34	cm =	13.386   0,01"	8	16	CUMPLE
Contenido Óptimo de cemento asfáltico [%]				5.7		
ASFALTO MODIFICADO CON 3.0% BUMPER						
Peso Específico	2.394	gr/cc		Min	Max.	Verificación
Estabilidad	1518.0 [kg]		3346.6 [lb]	1800[lb]		CUMPLE
% Vacíos en la mezcla	1.57	%		3	5	NO CUMPLE
% Vacíos en el agreg.	12.41	%		12	--	CUMPLE
% Vacíos con Asfalto	87.33	%		65	75	CUMPLE.
Flujo	0.32	cm =	12.60   0,01"	8	16	CUMPLE
Contenido Óptimo de cemento asfáltico [%]				5.5		

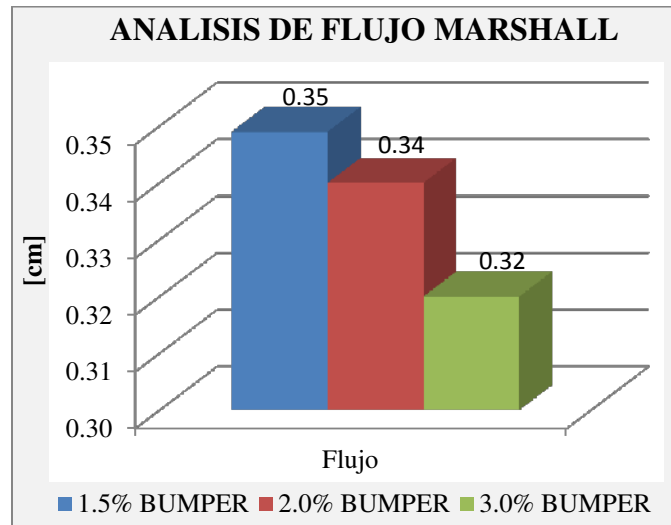
**Tabla 60: Resultados de Criterios de Diseño del Asfalto Modificado**

*Fuente:* Elaboración propia



**Gráfico 12: Análisis y Comparación de Vacíos y Estabilidad del Asfalto Modificado**

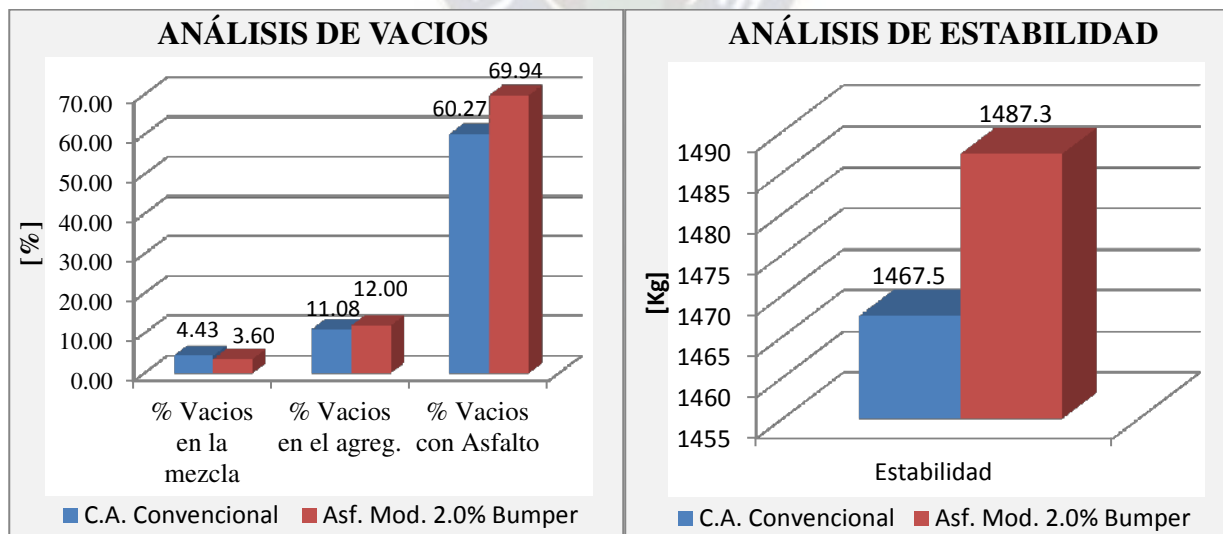
*Fuente:* Elaboración propia



**Gráfico 13: Análisis y Comparación de Flujo Marshall del Asfalto Modificado**

*Fuente:* Elaboración propia

Según la tabla anterior y las gráficas de comparación y análisis de los criterios de diseño de Marshall se pudo determinar que el mejor comportamiento tiene el asfalto modificado con 2% de bumper, entonces el porcentaje óptimo de modificante en el cemento asfáltico es 2.0 %. También se determinó el porcentaje óptimo de asfalto modificado en el diseño de mezcla asfáltica para el porcentaje óptimo que es de 5.7 % el cual cumple con las especificaciones. A continuación se muestra el análisis y comparación de diseño Marshall del asfalto convencional y modificado (del óptimo) que se refleja en los gráficos siguientes:



**Gráfico 14: Análisis de Diseño Marshall del Asfalto Original y Modificado**

*Fuente:* Elaboración propia

## 6.9 EVALUACIÓN DE DEFORMACIONES PLÁSTICAS

### 6.9.1 INTRODUCCIÓN

El análisis de ahuellamiento producido por la acumulación de deformaciones plásticas se realizó mediante el ensayo de Wheel tracking test para el asfalto original y modificado del este último solo del óptimo y se realizó el análisis y comparación técnica correspondiente del ensayo a las dos mezclas asfálticas.

### 6.9.2 ENSAYO DE WHEEL TRACKING TEST (WTT)

Este método describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia a la deformación plástica de una mezcla bituminosa (AASHTO TP63, NLT173, A0-610), tanto en el caso de mezclas preparadas en laboratorio como en el caso de testigos procedentes de pavimentos construidos.

El ensayo consiste en someter una probeta de mezcla bituminosa, al paso alternativo de una rueda en condiciones determinadas de presión y temperatura, midiéndose periódicamente la profundidad de la deformación producida.

Algunas consideraciones a tomar en cuenta:

**Temperatura de ensayo en el horno.** La temperatura normalizada para el ensayo de WTT es de 60°C para cualquier tipo de mezcla y zonas climáticas.

**Fuerza de presión en la rueda cargada.** La presión de contacto normalizada ejercida por la rueda cargada sobre la superficie de la probeta durante todo el ensayo es de  $900 \pm 25$  kN/m<sup>2</sup> ó  $9 \pm 0.25$  kgf/cm<sup>2</sup>, para todo tipo de mezcla y zona climática.

Para el proyecto de grado la presión de contacto normalizada, ejercida por la rueda cargada sobre la superficie de la probeta durante todo el ensayo, es de  $5.66 \pm 0.5$  kgf/cm<sup>2</sup>, para ejes equivalentes de 8.2 t, que es la que se utiliza en Bolivia en el diseño de pavimentos.

#### 6.9.2.1 EQUIPOS UTILIZADOS

Para el ensayo se utilizaron los siguientes equipos:

- ❖ **Conjunto de compactación.** Formado por el molde y los cuatro angulares construidos de acero
- ❖ **Base de compactación.** De dimensiones 60x60x20 cm como mínimo.
- ❖ **Elemento compactador.** La compactación se realiza mediante una placa de acero montado con dos vibradores iguales.

#### 6.9.2.2 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Para realizar el ensayo se prepara la muestra cómo se observa en la figura para este ensayo se realizó con las dosificaciones óptimas calculadas en el diseño Marshall.





Figura 52: Preparación de Muestras Para el Ensayo de Ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia

### 6.9.2.3 EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE LA RUEDA CARGADA

Después del período de enfriamiento de la mezcla, introduzca las probetas en un horno regulado a  $60 \pm 2^\circ \text{C}$  durante 4 h como mínimo, antes de ejecutar el ensayo. Conecte el sistema de calefacción de la cámara termostática, 2 h antes de comenzar, regulándolo a la temperatura del ensayo. Transcurrido este tiempo, saque la primera probeta del horno, y fije el molde con la probeta, sin que la rueda toque en la superficie de la probeta. En estas condiciones cargue el brazo soporte con las pesas necesarias para conseguir la presión especificada, cierre la cámara y espere unos 30 min con objeto de homogeneizar la temperatura del ensayo. Seguidamente, apoye la rueda cargada sobre la superficie de la probeta y ponga en marcha el carro durante 3 pasadas completas, para conseguir un asentamiento de la rueda sobre la probeta. A continuación, detenga el carro y sitúelo en el punto de medida del micrómetro, ponga éste en cero. Cierre entonces la ventana lateral y transcurridos unos 5 min comience el ensayo, poniendo en movimiento el carro durante un período de 120 min sin interrupciones, tomando las correspondientes lecturas de la deformación. Una vez finalizado el ensayo detenga la máquina, y extraiga la probeta ensayada colocando seguidamente la siguiente y repitiendo el mismo procedimiento de ensayo anterior.



Figura 53: Ensayo de Ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia

#### 6.9.2.4 RESULTADOS DEL ENSAYO DE AHUELLAMIENTO

El análisis y comparación de los resultados obtenidos en el ensayo de ahuellamiento se refleja en los siguientes gráficos:

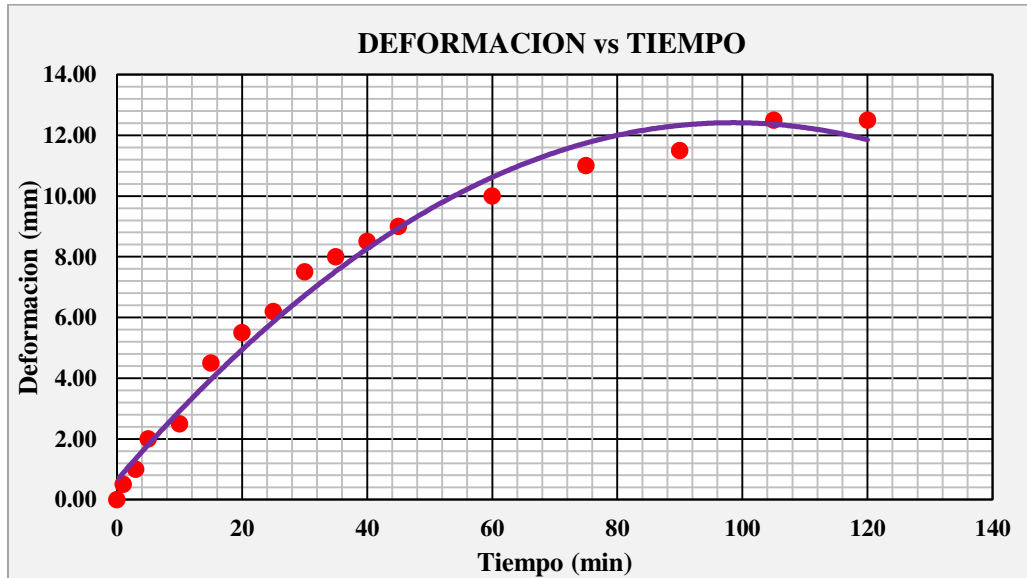


Figura 54: Deformación de la Mezcla con Asfalto Convencional

Fuente: Elaboración propia

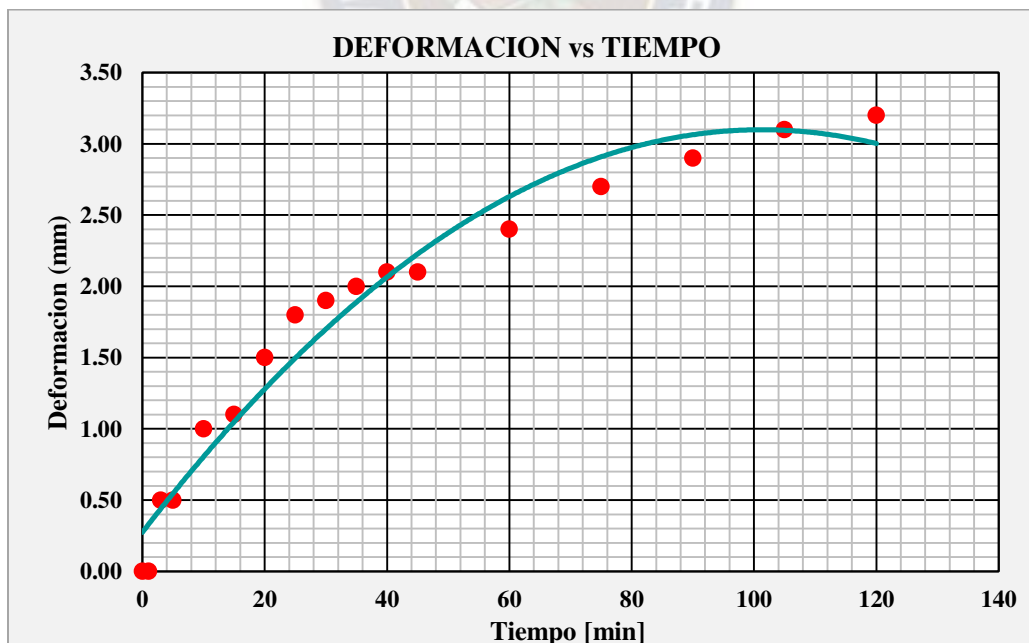


Figura 55: Deformación de la Mezcla con Asfalto Modificado (2% Bumper)

Fuente: Elaboración propia



## 6.10 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL MODIFICANTE (BUMPER) REQUERIDA PARA UNA TRAMO DE PAVIMENTO

Para determinar la cantidad necesaria de material modificante de desecho proveniente de parachoques de vehículos (bumper) para un determinado tramo de pavimento, se realizó el siguiente cálculo con datos adoptados y reales de una capa asfáltica.

### Datos necesarios:

DATOS DE LA CAPA ASFÁLTICA		
Longitud:	10.0	Km
Espesor:	0.9	m
Ancho de la Calzada	7.3	m
Bermas:	1.5	m
% De Compactación:	97.0	%
DATOS DE LA MEZCLA		
Peso Específico de la Mezcla:	2.406	g/cc
% C.A. Optimo:	5.7	%
% Material Modificante Optimo:	2.0	%

**Tabla 61: Datos Para el Cálculo de Material Modificante  
Necesario Para un Tramo de Pavimento**

*Fuente:* Elaboración propia

### Secuencia de cálculo

Determinación de volumen de capa asfáltica:

$$volumen = 10 * 1000 * 0.09 * 10.3 = 9270.0 [m^3]$$

Determinación del peso de la mezcla:

$$W_{mezcla} = 22322160.0 [Kg]$$

Determinación del peso del C.A.:

$$W_{C.A.} = 1272363.1 [Kg]$$

Determinación del peso del material modificante:

$$W_{modificante} = 25447.3 [Kg]$$

La cantidad necesaria de material modificante de desecho proveniente de parachoques de vehículos para un tramo de carretera de 10 km es de 25447.3 [Kg].

Además, un bumper pesa aproximadamente 20 kg lo que implica que para un kilómetro de pavimento calculado anteriormente se necesita 128 piezas de este material.

## 6.11 SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL

### 6.11.1 INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la historia el hombre ha descubierto los riesgos y la ocurrencia de accidentes por el simple hecho de realizar actividades. Pero con el tiempo las distintas y variadas formas de actividad humana desarrollado por el constante cambio, científico, técnico y tecnológico, representan a menudo un riesgo importante de ocurrencia de accidentes y enfermedades ocasionadas por los mismos materiales, herramientas y equipos que se utilizan en las diversas labores, para la producción de productos y subproductos.

A continuación damos una breve explicación de los posibles riesgos en la manipulación de los materiales bituminosos y las medidas de seguridad tomadas en laboratorio, en la elaboración del presente proyecto de grado con la manipulación del asfalto y equipos, también se describe las medidas de seguridad en una planta de asfalto, ya que los asfaltos tienen una propiedad muy importante, que son termoplásticos, entonces para su manejo o manipuleo se calienta a elevadas temperaturas, mayores a 135°C por lo cual es importante las medidas de seguridad.

### 6.11.2 RIESGOS GENERALES EN LA MANIPULACION DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS

A pesar de que al asfalto, en condiciones ambientales normales, se le considera como atóxico, sustancialmente, su contacto con la piel puede provocar inflamación o dermatitis en algunas personas.

Asimismo, cuando para su uso industrial se calienta o se mezcla con diversos solventes, puede presentar los siguientes riesgos:

**Peligros de Incendio.** Todos los materiales asfálticos pueden producir combustión si se los calienta suficientemente. El peligro de incendio que encierran los asfaltos diluidos varía de acuerdo con la clase y el grado del producto.

**Quemaduras.** El contacto de la piel con el asfalto caliente (160° C) puede provocar graves quemaduras. Si el asfalto fundido se pone en contacto con la piel, se la debe enfriar rápidamente con agua fría o mediante algún otro método recomendado por los médicos. La remoción del asfalto de la piel sólo debe ser realizada por un médico.

En caso de quemaduras extensas, se las debe cubrir con paños esterilizados y llevar al paciente inmediatamente al hospital.

**Inhalación de Vapores y Gases del Asfalto Caliente.** En las etapas de carga/descarga de asfalto se producen emanaciones de gases y vapores, derivados del cemento asfáltico o de algunos de sus solventes.

Riesgos para la salud

- ❖ Los vapores pueden causar mareos o sofocación.
- ❖ El contacto con la piel y/o los ojos puede irritar o quemar.
- ❖ Puede producir gases irritantes o venenosos al contacto con el fuego.

### 6.11.3 RIESGOS EN LABORATORIOS

#### Preparación de muestras, modificación y la realización de ensayos del asfalto

En la preparación de muestras, modificación del cemento asfáltico, y posterior caracterización del mismo tiene los siguientes riesgos: la inhalación de vapor y/o humos, quemaduras, irritación en la piel.

En la modificación del asfalto y la caracterización del mismo tanto del original como del modificado del presente proyecto de grado se emplearon los siguientes equipos: mascarilla (3M 6001), guantes de trabajo, látex y nitrilo, guardapolvo u overol, botas de seguridad.



**Figura 56: Elementos o Equipos de Seguridad**

*Fuente:* Elaboración propia

La utilización de los equipos de prevención en los ensayos del presente proyecto:



**Figura 57: Elementos de Seguridad Empleados en los Diferentes Ensayos del Proyecto**

*Fuente:* Elaboración propia

### Manipulación de los agregados pétreos

En la manipulación de los agregados pétreos se realizó el cuarteo de los mismos donde se genera polvo y riesgos como el sobre esfuerzo por peso excesivo o movimiento brusco así como en la caracterización de los mismos.

Y como medidas de prevención se emplearon los siguientes equipos: faja lumbar al levantar sacos y pailas con muestras de áridos, utilización de mascarillas con filtros para polvos, guantes de trabajo y lentes de protección.



**Figura 58: Elementos de Protección Empleados en la Manipulación de Agregados**

*Fuente:* Elaboración propia

### Ensayo Marshall

A través de probetas confeccionadas en Laboratorio se determinan los parámetros de Fluidez, Densidad y Estabilidad donde los riesgos asociados son: Calor, sobre esfuerzo por movimiento repetitivo, Ruido, Humos y quemaduras.

Y como Medidas de Prevención se emplearon los siguientes equipos: Overol, guantes para el calor seco, calzados de seguridad, uso de protector auditivo, mascarillas con filtros para humos y gases, y el funcionamiento de la campana de extracción.



**Figura 59: Equipos Empleados en la Elaboración de Marshall**

*Fuente:* Elaboración propia



#### 6.11.4 PLANTA DE PRODUCCIÓN DEL ASFALTO

Las plantas asfálticas modernas han incorporado tecnología para el secado, mezclado y vaciado, de manera que la producción de mezcla es uniforme y de acuerdo a cada tipo de especificaciones técnicas.

Como consecuencia de la superior calidad de las mezclas asfálticas, su empleo se ha extendido notablemente y debe considerarse como primera posibilidad para cualquier capa en las estructuras del pavimento asfáltico.

En una planta del tipo continua, el agregado y el asfalto son introducidos en el mezclador en forma volumétrica y la mezcla es producida y descargada en forma continua.



**Figura 60: Plantas Asfálticas (Esquema Planta Asfáltica de Proceso Continuo)**

*Fuente:* Ingeniería y Capacitación MR y Cía. Ltda.

En la planta del asfalto se deben tener las siguientes medidas de seguridad e implementos y equipos de seguridad.

##### 6.11.4.1 ELEMENTOS DE PROTECCION PERSONAL (EPP)

Es cualquier equipo o dispositivo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que se proteja de uno o varios riesgos y que pueda aumentar su seguridad o su salud en el trabajo.

El uso de EPP (elementos de protección personal básicos) es importante porque estos son una barrera más para minimizar las consecuencias de un accidente. Los mismos son de uso obligatorio y como lo indica su nombre, son personales.

##### **Casco de Seguridad:**

La función del casco de seguridad es proteger la cabeza de golpes, caídas de objetos, etc. Es de uso obligatorio y permanente.

Los cascos deben usarse ajustados a la nuca, calzando el arnés correspondiente y estarán debidamente identificados con el logotipo de la empresa.

### **Protección Ocular:**

El uso de anteojos de seguridad, antiparras y/o protector facial es obligatorio durante la ejecución de trabajos con proyección de partículas; amolado, corte de rebabas y herramientas, uso de masas, cortes y agujereado de metales, en tareas de acopio de materiales áridos en la tolva, días de fuertes vientos y también durante la producción de asfaltos, etc.

La función de esta protección es prevenir las lesiones oculares por lo nombrado anteriormente.

### **Protección de las manos, guantes de cuero de vaqueta:**

Por las características de los trabajos de planta de asfaltos y obras en la mayoría de las tareas se requiere el uso de guantes descarné. Estos mismo están destinados a evitar raspaduras, cortes y minimizar las lesiones en caso de golpes, etc. y su uso es obligatorio en tareas de manipulación de materiales.

Para el caso de esta actividad no existe un guante universal que sirva para la infinidad de distintas tareas que se realizan en planta. En cada caso será analizada por el equipo de seguridad e higiene la protección de las manos de manera adecuada.

Otro punto a considerar es la protección higiénica que proporcionaran los guantes ante determinados contaminantes.

### **Protector Lumbar:**

El protector lumbar, junto al casco y calzado de seguridad, constituye la protección básica obligatoria del trabajador.

El protector lumbar brinda un amplio soporte, firme y cómodo, de la parte inferior de la espalda y el abdomen y promueve la correcta posición y técnica de levantamiento de pesos.

### **Calzado de Seguridad:**

El calzado de seguridad provee protección, por las siguientes características:

- ❖ La puntera de acero protege contra caída de objetos pesados sobre los dedos.
- ❖ La suela antideslizante previene resbalones.
- ❖ La suela aislante disminuye eventuales riesgos eléctricos. En la planta existe media tensión por lo que esta característica de los botines es obligatoria para todas las actividades a desarrollar.
- ❖ El contra fuerte reforzado en el botín, ayuda a evitar torceduras.



El personal debe usar el calzado de seguridad perfectamente atado y en buen estado, para ello deberá informar oportunamente a su Capataz la necesidad de reposición.

### **E.P.P. específicos:**

#### **Protector Auditivo tipo copa:**

Es el más utilizado en planta ya que presenta comodidad para largas jornadas de trabajo, una muy buena atenuación de ruidos en sus distintas frecuencias además de brindar una protección higiénica extra y permitir el paso de los sonidos necesarios para que el operario de la planta de asfaltos no quede totalmente aislado de su medio ambiente de trabajo.

Queda prohibida la utilización de auriculares en combinación con la protección y cualquier deformación y/o modificación de las propiedades del fabricante sin duda afectarán la capacidad de atenuación del E.P.P.

#### **Protector facial:**

De uso obligatorio cuando se utilice sensitiva a motor para cortar, amoladora y toda herramienta que genere proyección de partículas que puedan causar cortes y daños en rostro.

**ATENCIÓN:** esta protección nunca debe utilizarse sola, siempre debe ir en conjunto con anteojos de seguridad / antiparras.

#### **Mascarillas:**

Este elemento de protección se recomienda sea utilizado cuando se realizan tareas donde exista polvillo que pueda ser respirado. Su función es evitar que entren a las vías respiratorias partículas extrañas.



**Figura 61: Elementos de protección personal**

*Fuente:* foto de archivo (internet)

### 6.11.5 IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE EN LA OPERACIÓN DE LAS PLANTAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

Por la naturaleza del proceso de producción de mezcla asfáltica en caliente las plantas de asfalto, pueden traer consigo problemas ambientales, desde luego que con buenas prácticas de operación, estos problemas pueden ser monitoreados, controlados y mitigados para que no sean considerados significativos.

La correcta operación de la planta nos lleva a conservar los lineamientos ambientales, todo inicia desde el momento de la selección del lugar donde instalará la planta posterior a esto el tipo de planta que se instalará, esta elección será de acuerdo a varios factores, pero dentro de los que se encuentra las consideraciones ambientales. En la actualidad por la legislación que cada día es más exigente, y por la misma situación ambiental que día a día es más afectada por la actividad humana; la tecnología es aplicada a los procesos de producción de mezcla asfáltica en caliente y nos lleva a nuevos métodos de producción tratando de preservar nuestro medio ambiente; tal es el caso de los sistemas de control por medio de los cuales se controla de manera más eficiente la operación de las plantas, pudiendo mejorar por ejemplo la correcta combustión dentro del tambor secador-mezclador, la correcta dosificación de cemento asfáltico y agregados evitando el “desperdicio” excesivo.

Entre los problemas que se tiene en una planta asfáltica que afectan al medio ambiente son:

#### **Vibraciones**

Las vibraciones son ocasionadas por el funcionamiento de la maquinaria pesada, como la planta de asfalto, el tránsito de los camiones, etc. Las vibraciones pueden ser perjudiciales principalmente para la fauna y poblados presentes en las cercanías de las instalaciones de la planta y para los trabajadores de la planta. Se recomienda la correcta cimentación y anclaje de los diferentes equipos, además la utilización de aislantes entre las cimentaciones y los equipos, esto con la finalidad de reducir al máximo la propagación de la vibración.

#### **Ruido**

La generación de ruido es parte del proceso de producción de mezclas asfálticas, es un factor importante a considerar en la implementación y operación de las plantas de asfalto, el ruido puede perjudicar las actividades de las personas cercanas a la planta, a los trabajadores y afectar la fauna del lugar donde se localiza la planta. Se recomienda que el área donde se instale la planta no sea un área cerrada, esto causaría que el sonido se encierre, produciendo resonancia. El rango de ruido generado por el proceso está arriba de los 85 decibeles, por lo tanto, es necesario proporcionar a los trabajadores equipo de protección como tapones y orejeras para proteger el sentido del oído.

Los niveles de presión sonora superiores a 85 dB(A) se permitirán siempre que el tiempo de exposición del trabajador no exceda los valores indicados en la siguiente tabla:

Niveles de Presión Sonora dB(A) lento	Tiempo Máximo de Exposición por jornada (hora)
85	8
86	6.97
87	6.06
88	5.28
89	4.6
90	4
91	3.48
100	1
105	0.5
110	0.25

**Tabla 62: Niveles de Presión Sonora**

*Fuente:* Ingeniería y Capacitación MR y Cía. Ltda.

En las plantas asfálticas debe controlarse periódicamente el nivel de ruido en los siguientes sectores:

- ❖ Sector secador/quemador.
- ❖ Sector mezclador.

### **Polvo**

El manejo de los agregados pétreos, arenas, agregados gruesos, *fillers*, traen consigo la generación de polvos, además el tránsito de los camiones, si el suelo no está bien preparado puede generar aún más polvo, y por último la generación de humos, todo esto junto puede causar daños ambientales significativos si no se toman las medidas correspondientes para reducir al mínimo estos elementos contaminantes. El polvo y humo además pueden causar daños a los trabajadores y a los componentes de la planta, para evitar la generación de polvo se puede preparar el terreno y evitar que la velocidad de los camiones sea excesiva dentro de la planta. Para reducir la generación de humos se recomienda la periódica calibración de los camiones y/o maquinaria incluyendo la planta.

### **Olores**

La producción de mezclas en caliente genera olores que pueden ser fuertes persistentes y molestos para los empleados y los vecinos. Controlarlos y abatirlos es necesario para evitar inconvenientes.

La industria del asfalto ha estado buscando un aditivo que controle los olores, se ha desarrollado una nueva familia de aditivos que pueden ser mezclados directamente en los betúmenes utilizados en la industria del asfalto para controlar las emisiones de olor. Adicionando una

pequeña cantidad del aditivo correcto en los tanques de almacenamiento líquido durante la manipulación, las emisiones olorosas se reducen significativamente siendo incluso eliminadas. Los aditivos se pueden utilizar en:

- ❖ Mezclas asfálticas en caliente
- ❖ Mezclas asfálticas en caliente con Anti-Strip y otros aditivos
- ❖ Emulsiones asfálticas
- ❖ Fuel oíl
- ❖ Fuel oíl usado

Estos aditivos han demostrado su efectividad en el control de las emisiones olorosas en refinerías plantas de mezcla en caliente, sistemas de transporte y en operaciones de pavimentación.

- ❖ Los aditivos son efectivos contra los olores orgánicos e inorgánicos
- ❖ Los aditivos para asfalto van directamente en la mezcla asfáltica, el combustible y sus emulsiones.
- ❖ Los aditivos para asfalto han sido analizados por laboratorios independientes demostrando que no tienen efectos negativos sobre las propiedades de los asfaltos.

Simplemente un litro por cada 10.000 litros en la mayoría de los betúmenes y un litro por cada 10000 litros de *fuel* y *fuel oil* usado durante los procesos de transferencia y manipulación, se eliminan los olores no deseados incluso en los gases de la combustión.

#### **6.11.5.1 RECUPERACIÓN AMBIENTAL**

Para el plan de recuperación ambiental deberá existir un profesional con conocimiento en el manejo y la administración de los recursos naturales y control de la contaminación, quien será responsable de implementar las medidas de mitigación que considere necesarias, así como el control y monitoreo de las mismas.

La recuperación ambiental puede iniciarse con el correcto uso de los recursos naturales tomando medidas como:

- ❖ Control de las actividades por un profesional con conocimientos ambientales.
- ❖ Uso únicamente del área necesaria para el montaje y operación de la planta.
- ❖ Buena selección del área para ubicar la planta.
- ❖ Monitoreo de los daños ambientales durante la instalación de la planta.
- ❖ Evitando accidentes como derrames de líquidos contaminantes durante la instalación y/o montaje de la planta.

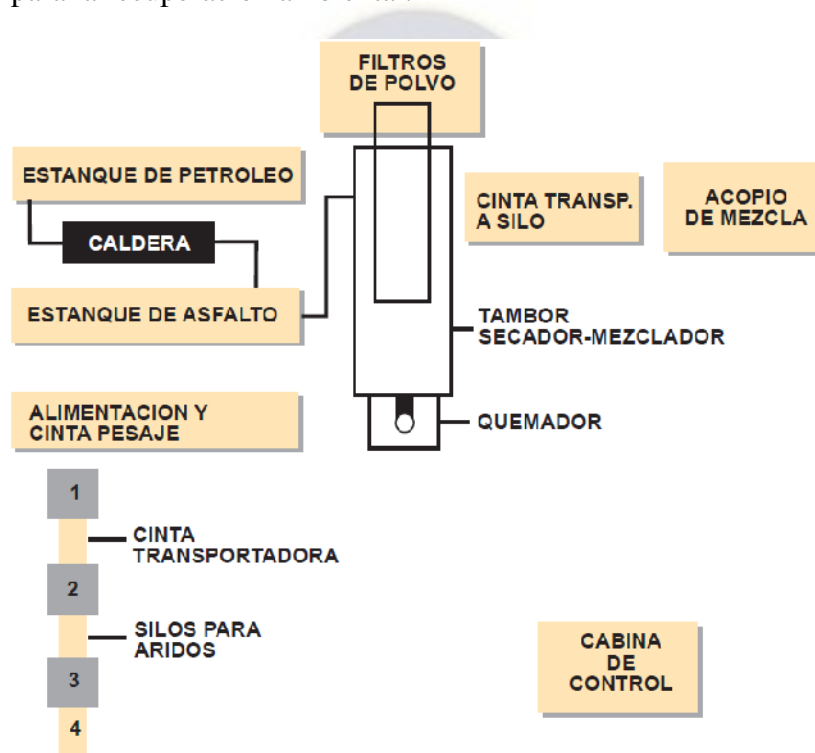
Posteriormente deben de tomarse medidas para mitigar los efectos negativos por la implementación de la planta como:

- ❖ Reforestación de los perímetros de la planta: esto con el fin de evitar que el polvo y el humo se propague además para evitar la contaminación visual.

## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)

- ❖ Considerar las áreas más idóneas para la colocación de materiales contaminantes como combustibles, CA y lubricantes. Esto con el fin de proteger las áreas más vulnerables a contaminación, por ejemplo, ríos, riachuelos o manantiales.
- ❖ Preestablecer áreas para la jardinería de la planta.
- ❖ Mejorar áreas aledañas a la planta.
- ❖ Manejo de aguas pluviales, para evitar que acarreen residuos contaminantes.

Todas estas medidas deberán contemplarse como parte de la recuperación ambiental, desde luego que estas difieren para cada caso y el profesional ambientalista será el responsable de indicar las medidas a tomar para la recuperación ambiental.



**Figura 62: Funcionamiento de una Planta Asfáltica**

*Fuente:* Ingeniería y Capacitación MR y Cía. Ltda.

- 1° Descarga de materias primas (áridos y asfalto).
- 2° Alimentación y secado de áridos.
- 3° Mezclado de áridos y asfalto.
- 4° Transporte de la mezcla al silo de almacenamiento final.





## CAPÍTULO VII

# COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LA MODIFICACIÓN DE DOS ASFALTOS DE DISTINTA PROCEDENCIA

## 7 CAPÍTULO VII: COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LA MODIFICACIÓN DE DOS ASFALTOS DE DISTINTA PROCEDENCIA

### 7.1 INTRODUCCIÓN

Se realiza un análisis y comparación técnica de los resultados obtenidos de la modificación y del diseño de la mezcla asfáltica de porcentajes óptimos de ambos cementos asfálticos modificados con bumper, en este caso 2%. Realizando primero un resumen de datos de ambos asfaltos de distinta procedencia tanto los originales como los modificados, su caracterización y diseño, finalmente el análisis correspondiente a ambos asfaltos.

#### 7.1.1 CARACTERIZACIÓN DE AMBOS ASFALTOS

El asfalto estudiado y modificado de procedencia brasileña es de la empresa novas técnicas de asfalto Ltda. (NTA).

##### Asfalto Original

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS		Método utilizado	Valores obtenidos en laboratorio	Especificación ASTM D-946	Verificación
Peso Específico [gr/cm <sup>3</sup> ]		ASTM D -70	0.994	0,94 - 1,04 *	CUMPLE
Penetración a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]		ASTM D -5	70	60 - 70	CUMPLE
Punto de Inflamación (Vaso abierto de Cleveland) [°C]		ASTM D-92	294	Min. 232	CUMPLE
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 mm/min. [cm]		ASTM D-113	150	Min. 100	CUMPLE
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]		ASTM D-36	48	43 -53 *	CUMPLE
Solubilidad en tricloroetileno [%]		ASTM D-78	99.53	Min 99,0	CUMPLE
Viscosidad Saybolt Furol a 135°C [SSF]		ASTM D-2171	146	Min. 85	CUMPLE
Viscosidad Cinemática a 135°C [cSt]		ASTM D-2170	267.09	---	---
Viscosidad Dinámica a 60°C [P]		ASTM D-2171	1367.93	---	---
Ensayo sobre la Pelicula Delgada	Perdida por Calentamiento [%]	ASTM D-1754	0.166	Max. 1	CUMPLE
	Ductilidad a 25°C del residuo [cm]	ASTM D-113	150	Min. 75	CUMPLE
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	51.25	43 - 53*	CUMPLE
Ensayo de la Mancha 20%Xileno y 80%heptano		AASTHO T-102	Negativo	Negativo	CUMPLE
Recuperación elástica (%)		ASTM D-6084	13.5	---	---
Punto de Fragilidad Fraass [-°C]		IP80-53	-10	---	---
Índice de Penetración			-0.82	-1 a 1 *	CUMPLE
			-0.82	-1,5 - 0,5 **	CUMPLE
Viscosidad Rotacional Brookfield [P]	135°C	5 RPM	ASTM D-4402	2.60	---
		10 RPM			
		15 RPM			
	150°C	15 RPM	ASTM D-4402	1.49	---
		20 RPM			
		30 RPM			
		40 RPM			
	45 RPM				

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS  
CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**

	177°C	50 RPM	ASTM D-4402	0.58	---	---
		60 RPM				
		80 RPM				
		100 RPM				
		120 RPM				

\* Valores obtenidos de las Normas Chilenas

\*\* Valores obtenidos de las Normas Argentinas

**Tabla 63: Caracterización por Penetración del Cemento Asfáltico  
Novas Técnicas de Asfaltos Ltda. (NTA) 60/70**

**Modificado**

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS		Método utilizado	Valores obtenidos en laboratorio	
			2.0% Bumper	
Peso Específico [gr/cm <sup>3</sup> ]		ASTM D -70	1.003	
Penetración a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]		ASTM D -5	66	
Recuperación elástica [°C]		ASTM D-6084	10.83	
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 mm/min. [cm]		ASTM D-113	41	
Ductilidad de 41 °F (5°C) 5 mm/min. [cm]		ASTM D-113	21.67	
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]		ASTM D-36	48.75	
Ensayo sobre la Película Delgada	Perdida por Calentamiento [%]	ASTM D-1754	0.001	
	Ductilidad a 25°C del residuo [cm]	ASTM D-113	47	
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	49.18	
Punto de Fragilidad Fraass [-°C]		1180-53	-11	
Índice de Penetración			-0.59	
Viscosidad Rotacional Brookfield [P]	135°C	5 RPM	ASTM D-4402	6.13
		10 RPM		
		15 RPM		
	150°C	15 RPM	ASTM D-4402	1.67
		20 RPM		
		30 RPM		
		40 RPM		
		45 RPM		
	177°C	50 RPM	ASTM D-4402	0.73
		60 RPM		
		80 RPM		
		100 RPM		
estabilidad al almacenamiento	Penetración a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]	superior	ASTM D-5	60.9
		inferior		61.6
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	superior	ASTM D-36	49.1
		inferior		49.9

**Tabla 64: Caracterización del Asfalto Brasileño Modificado con Bumper (Óptimo)**

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS  
CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**

Asfalto modificado de procedencia colombiana Ecopetrol 60/70:

**Asfalto Original**

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS		Método Utilizado	Valores Obtenidos en Laboratorio	Especificación ASTM D-946	Verificación
Peso Específico [gr/cm <sup>3</sup> ]		ASTM D -70	1.010	0,94 - 1,04 *	CUMPLE
Penetracion a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]		ASTM D -5	72	60 - 70	NO CUMPLE
Punto de Inflamación (Vaso abierto de Cleveland) [°C]		ASTM D-92	243	Min. 232	CUMPLE
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 cm/min. [cm]		ASTM D-113	150	Min. 100	CUMPLE
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]		ASTM D-36	47.5	43 -53 *	CUMPLE
Solubilidad en tricloroetileno [%]		ASTM D-78	99.60	Min 99,0	CUMPLE
Ensayo sobre la Película Delgada	Perdida por Calentamiento [%]	ASTM D-1754	0.106	Max. 0.8	CUMPLE
	Penetración [%] min. del Original	ASTM D-5	67	Min. 54	CUMPLE
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	53.75	43 - 53*	NO CUMPLE
Ensayo de la Mancha (30% Xileno y 70% heptano)		AASTHO T-102	Negativo	Negativo	CUMPLE
Recuperación elástica (%)		ASTM D-6084	10.8	-	-
Punto de Fragilidad Fraass [°C]		IP 80-53	-19.5	-	-
Índice de penetración			-0.99	-1 a 1 *	CUMPLE
			-0.99	-1,5 - 0,5 **	CUMPLE
Viscosidad Rotacional Brookfield, 135°C (cP)		ASTM D-4402	300	Max. 2000	CUMPLE
Viscosidad Rotacional Brookfield, 155°C (cP)		T72 D88	162	-	-
Viscosidad Rotacional Brookfield, 175°C (cP)		T72 D88	68	-	-

\* Valores obtenidos de las Normas Chilenas

\*\* Valores obtenidos de las Normas Argentinas

**Tabla 65: Caracterización del Cemento Asfáltico Original Ecopetrol de Procedencia Colombiana**

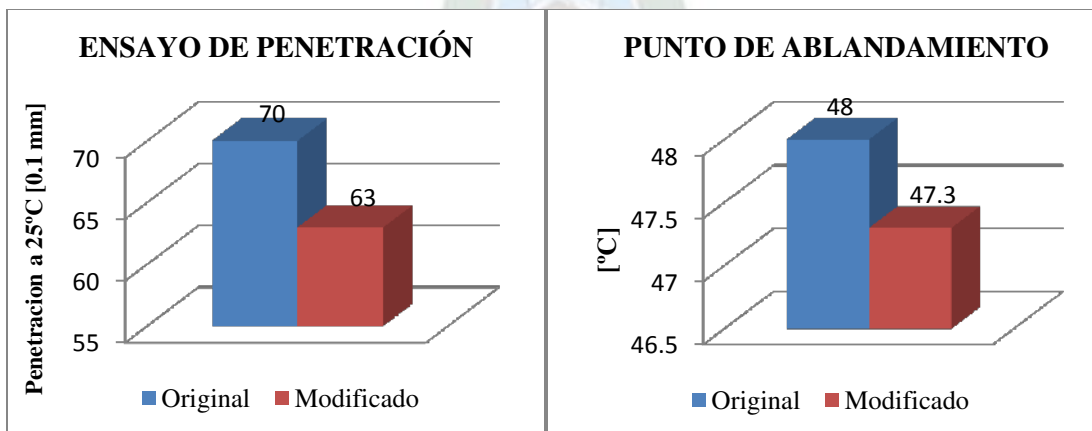
**Modificado**

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS		Método Utilizado	Valores Obtenidos en Laboratorio	
Peso Específico [gr/cm <sup>3</sup> ]		ASTM D -70	1.010	
Penetración a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]		ASTM D -5	48	
Punto de Inflamación (Vaso abierto de Cleveland) [°C]		ASTM D-92	234	
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 cm/min. [cm]		ASTM D-113	42.8	
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]		ASTM D-36	54.2	
Ensayo sobre la Película Delgada Rotatoria (RTFOT)	Perdida por Calentamiento [%]	ASTM D-1754	0.033	
	Penetración [%] min. del Original	ASTM D-5	73	
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	63.0	
Recuperación elástica (%)		ASTM D-6084	11.8	
Punto de Fragilidad Fraass [°C]		IP 80-53	-22.3	
Índice de penetración			-0.28	
Viscosidad Rotacional Brookfield, 135°C (cP)		ASTM D-4402	793	
Viscosidad Rotacional Brookfield, 155°C (cP)		T72 D88	240	
Viscosidad Rotacional Brookfield, 175°C (cP)		T72 D88	99	
Estabilidad al Almacenamiento	Penetración a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]	ASTM D-5	Sup.	48
			Inf.	50
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	Sup.	54.0
			Inf.	52.2

**Tabla 66: Caracterización del Asfalto Colombiano Ecopetrol Modificado (Óptimo)**

Realizando el análisis y comparación técnica a ambos asfaltos tenemos lo siguiente:

**Procedencia Brasileña:**





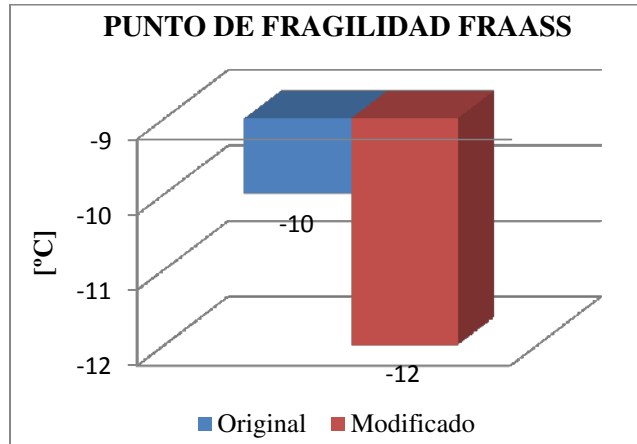


Gráfico 15: Análisis y Comparación Del Asfalto En Estudio De Procedencia Brasileña

Procedencia Colombiana:

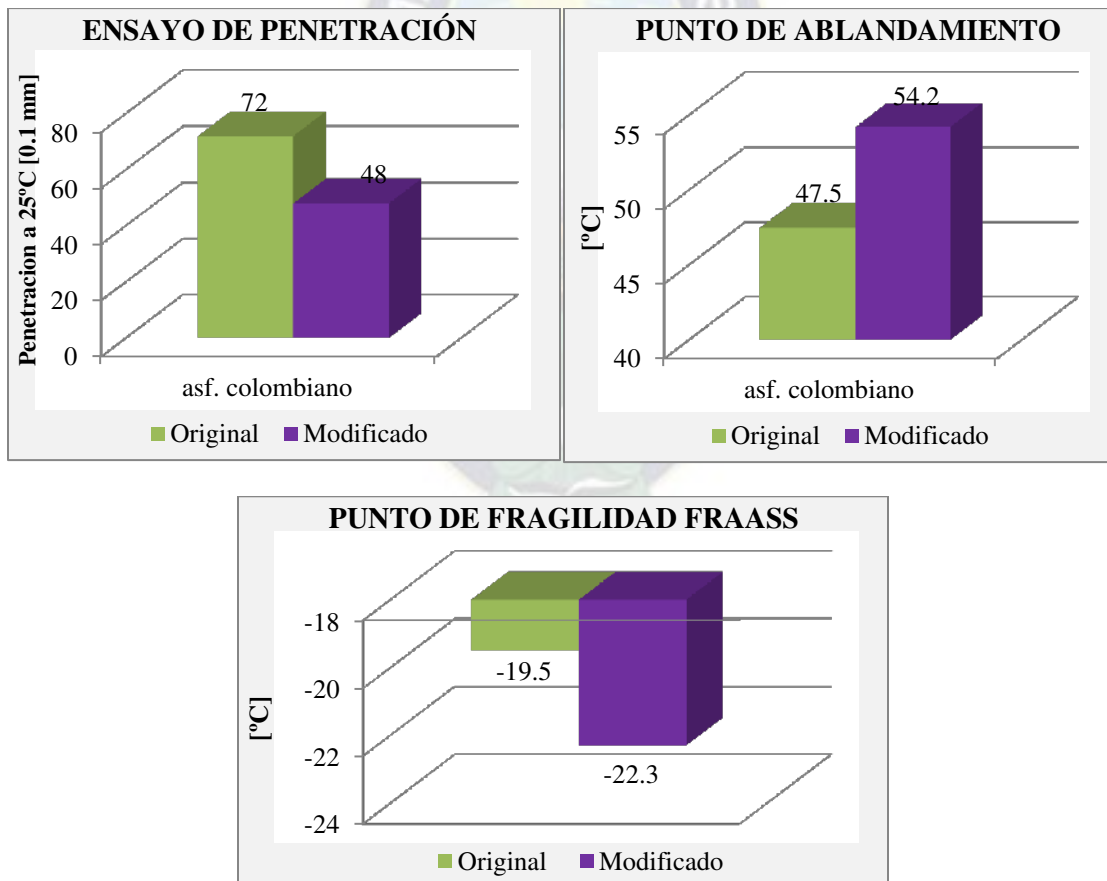


Gráfico 16: Análisis y Comparación Técnica del Cemento Asfáltico de Procedencia Colombiana

El comportamiento en sus propiedades en ambos asfaltos se da de manera similar tal como se observa en los gráficos, es decir uno de las propiedades a resaltar es el punto de fragilidad Fraass

donde con la incorporación del material modificante, disminuye esta, el comportamiento se da en ambos asfaltos de manera similar.

Estos asfaltos modificados con material de desecho proveniente de parachoques de vehículos pueden resistir a bajas temperaturas, en el caso del cemento asfáltico colombiano modificado esta puede resistir hasta  $-22.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  y es mejor que el asfalto brasileño modificado con bumper. Realizando una comparación técnica con las especificaciones de cementos asfálticos polimerizados CAP según el método Superpave para el altiplano boliviano debe ser: según su grado de desempeño un asfalto PG 70-28 el cual fue propuesta por el Ing. Oscar Luis Perez Loayza. Entonces si bien el asfalto colombiano modificado en el presente proyecto de grado resiste a bajas temperaturas, pero aún no cumple con las especificaciones para altiplano boliviano.

### **MODELO SUPERPAVE**

El Grado de Desempeño de un cemento asfáltico forma parte de un sistema denominado SUPERPAVE (SUPERIOR PERFORMANCE PAVEMENTS) que nace de las investigaciones desarrolladas en Estados Unidos en 1987 (Programa Estratégico de Investigación de Carreteras, SHRP). Éste sistema incluye nuevas especificaciones para el cemento asfáltico, agregado y un nuevo método de diseño de mezclas asfálticas en caliente y un modelo de predicción del comportamiento de pavimentos asfálticos.

Modelo SUPERPAVE clasifica los ligantes por grado de Performance o desempeño, designado por PG XX –YY, donde XX indica la temperatura máxima promedio del pavimento (a 20 mm de profundidad) e YY indica la temperatura mínima superficial del pavimento. Los valores XX e YY se determinan en base a registros históricos de temperatura y considerando un factor de confiabilidad.

En la Tabla siguiente se muestran los distintos ligantes asfálticos establecidos en el método SUPERPAVE, recordando que la clasificación es del tipo PG XX -YY. Vale la pena mencionar que los grados PG 76 y 82 son utilizados exclusivamente para incluir cargas detenidas, a velocidades bajas o a excesivo tránsito.

<b>Grados de Ligante Superpave</b>	
<b>Alta Temperatura</b>	<b>Baja Temperatura</b>
PG46	-34, -40, -46
PG52	-10, -16, -22, -28, -34, -40, -46
PG58	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG64	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG70	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG76	-10, -16, -22, -28, -34
PG82	-10, -16, -22, -28, -34

**Tabla 67: Grados de Ligante Superpave**

*Fuente:* Instituto de Ensayo de Materiales - IEM

7.1.2 DATOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE AMBOS ASFALTOS

Asfalto de procedencia brasileña original y modificado

ASFALTO CONVENCIONAL							
CRITERIOS DE DISEÑO (TRAFICO PESADO - 75 golpes ambas cara)							
				Especificaciones		Verificación	
				Min	Max.		
Peso Específico=	2.50	gr/cc					
Estabilidad=	1800.0	Kg=	3968.25 lb	1800 [lb]	-	CUMPLE	
% Vacíos en la mezcla=	3.30	%		3	5	CUMPLE	
% Vacíos en el agreg.=	9.00	%		12	-	NO CUMPLE	
% Vacíos con Asfalto=	65.00	%		65	75	CUMPLE	
Flujo=	0.26	cm =	12.598	0.01"	8	14	CUMPLE
Porcentaje Óptimo De Cemento Asfáltico [%]				5.50			
ASFALTO MODIFICADO CON 2.0 % BUMPER							
CRITERIOS DE DISEÑO (TRAFICO PESADO - 75 golpes ambas cara)							
				Especificaciones		Verificación	
				Min	Max.		
Peso Específico=	2.50	gr/cc					
Estabilidad=	1700	Kg=	3747.80 lb	1800 [lb]	-	CUMPLE	
% Vacíos en la mezcla=	3.29	%		3	5	CUMPLE	
% Vacíos en el Agreg.=	9.25	%		12	-	NO CUMPLE	
% Vacíos con Asfalto=	65.00	%		65	75	CUMPLE	
Flujo=	0.29	cm =	11.42	0.01"	8	14	CUMPLE
Porcentaje Óptimo De Cemento Asfáltico [%]				5.8			

Tabla 68: resultados de diseño Marshall del asfalto Brasileño

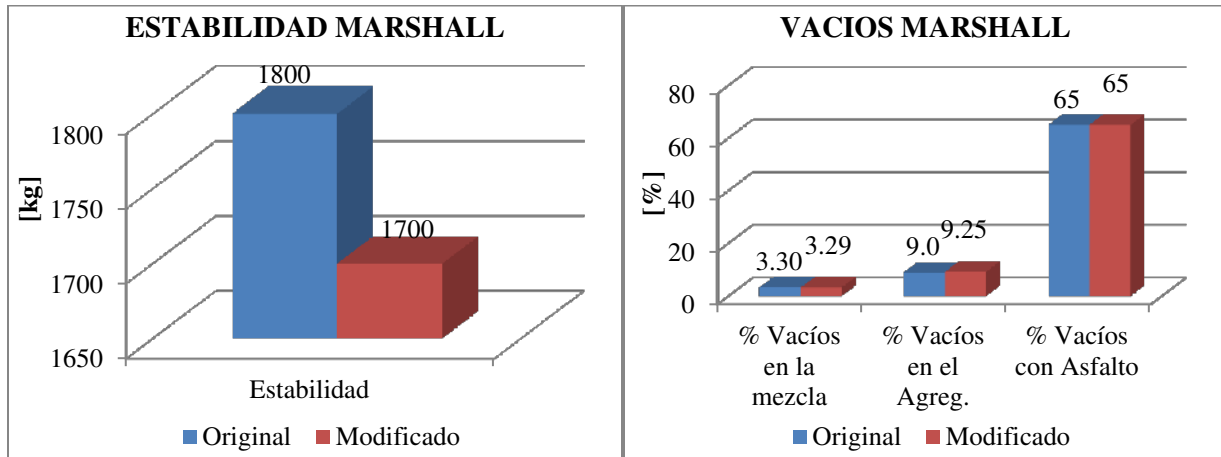
Asfalto de procedencia colombiana original y modificado

ASFALTO CONVENCIONAL (ECOPETROL)							
CRITERIOS DE DISEÑO (Tráfico Pesado - 75 golpes ambas cara)							
				Especificaciones		Verificación	
				Min	Max.		
Peso Específico	2.400	gr/cc					
Estabilidad	1467.5 [kg]		3235.2 [lb]	1800 Lb		CUMPLE	
% Vacíos en la mezcla	4.43	%		3	5	CUMPLE	
% Vacíos en el Agreg.	11.08	%		12	---	NO CUMPLE	
% Vacíos con Asfalto	60.27	%		65	75	NO CUMPLE	
Flujo	0.29	cm =	11.54	0,01"	8	16	CUMPLE
Porcentaje Óptimo De Cemento Asfáltico [%]				5.5			
ASFALTO MODIFICADO CON 2.0 % BUMPER							
				Min	Max.		
Peso Específico	2.406	gr/cc					
Estabilidad	1487.3 [kg]		3278.9 [lb]	1800[lb]	-	CUMPLE	
% Vacíos en la Mezcla	3.60	%		3	5	CUMPLE	
% Vacíos en el Agreg.	12.00	%		12	-	CUMPLE	
% Vacíos Con Asfalto	69.94	%		65	75	CUMPLE	
Flujo	0.34	cm =	13.386	0,01"	8	16	CUMPLE
Porcentaje Óptimo de Cemento Asfáltico [%]				5.7			

Tabla 69: Resultados de Diseño Marshall del Cemento Asfáltico de Procedencia Colombiana

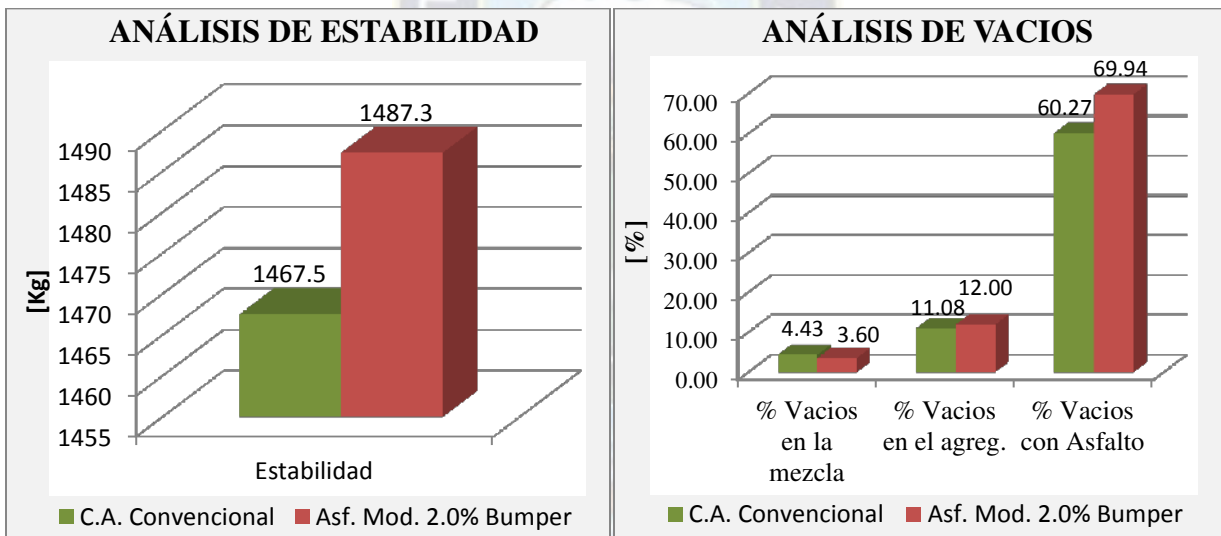
Análisis y comparación de resultados de ambos asfaltos:

**Procedencia Brasileña:**



**Gráfico 17: Resultados del Diseño de Marshall del asfalto Brasileño**

**Procedencia Colombiana:**



**Gráfico 18: Comparación de Resultados de Diseño Marshall del Asfalto Colombiano**



**CAPÍTULO VIII**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**



## 8 CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 CONCLUSIONES

Se realizó la modificación por vía húmeda del cemento asfáltico Ecopetrol 60/70 de procedencia colombiana con éxito para los porcentajes 1.5%, 2.0%, 3.0% de modificante proveniente de parachoques de vehículos (bumper) sin ningún inconveniente, con las medidas de seguridad que corresponde para evitar cualquier accidente.



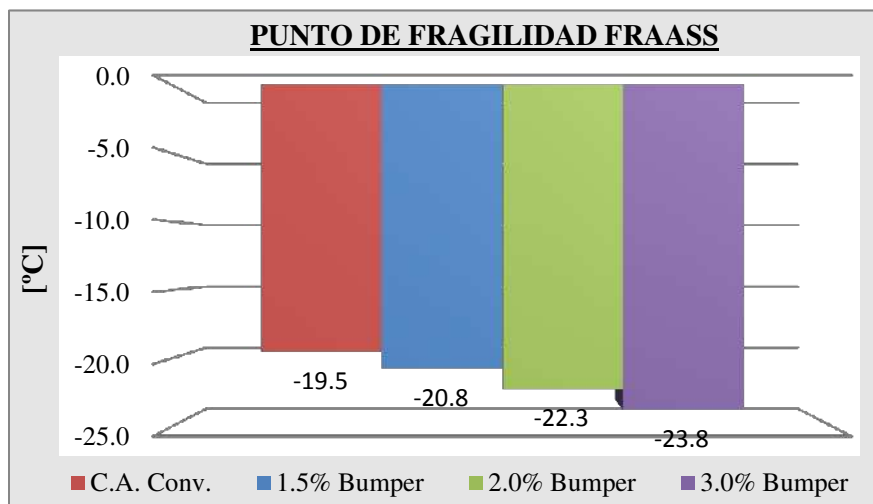
**Figura 63: Proceso de Modificación del Asfalto Convencional con Modificante**

*Fuente:* Elaboración propia

Para la caracterización del asfalto convencional y modificado se hizo con la norma ASTM y AASHTO algunas otras normas consultadas fue la norma chilena NLT, por ejemplo, para el ensayo de punto de ablandamiento de la película delgada, entre otras, y normas argentinas que eran necesarias para tomar como referencia. El asfalto convencional estudiado cumple con todas las especificaciones establecidas en las normas y dentro del rango correspondiente, y la caracterización se realizó por penetración tal como se observa en las tablas. Se realizó la caracterización correspondiente del asfalto modificado de los porcentajes respectivos de acuerdo a las normas mencionadas anteriormente determinado con esta parámetros importantes y cambios de algunas propiedades del asfalto convencional con la incorporación de modificante parachoques proveniente de vehículos (bumper), como el incremento de la consistencia del asfalto original el aumento de punto de ablandamiento, y el descenso de punto de fragilidad Fraass tal como se observa en los siguiente gráficos, y así teniendo un dato a priori del porcentaje óptimo de modificante que resulta ser 2.0%.

ENSAYO DE PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS				
Unidad	C.A. Convencional	Asfalto Modificado		
		1.5%	2.0%	3.0%
[°C ]	-19.5	-20.8	-22.3	-23.8

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)**



Se realizó con éxito la dosificación para los distintos porcentajes de asfalto modificado mediante la determinación de la combinación granulométrica adecuada y económica que cumple con las especificaciones de las normas: ASTM D3515, Administradora Boliviana de Carreteras, Instituto del Asfalto y el de Superpave, resultando ser estas lo siguiente:

COMBINACIÓN DE AGREGADOS			
Grava	Gravilla	Arena	Fino
<b>21.00%</b>	<b>46.00%</b>	<b>5.00%</b>	<b>28.00%</b>

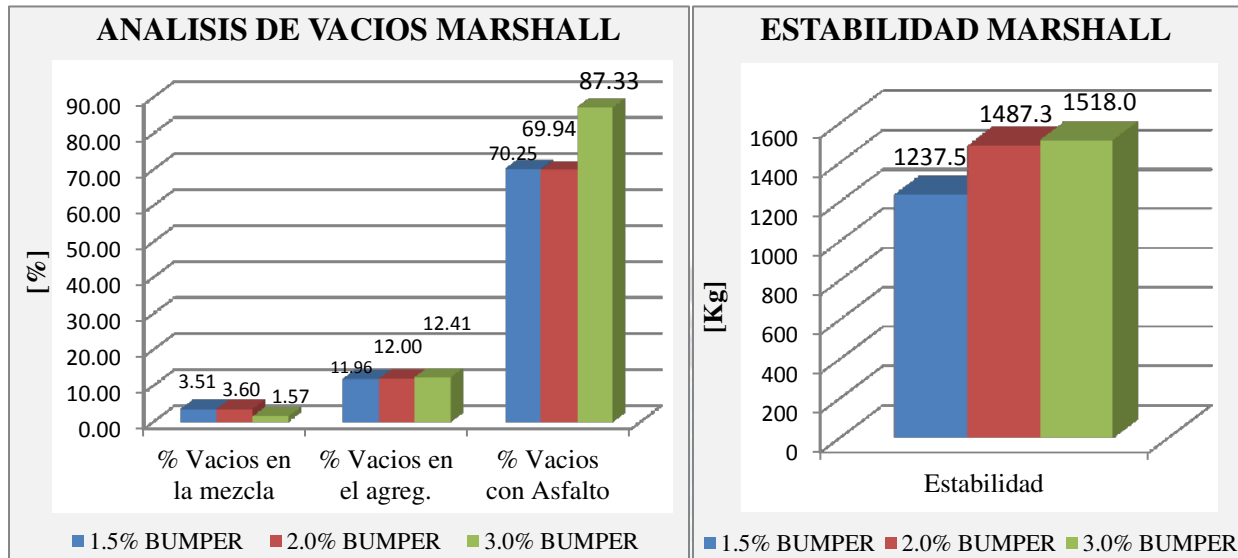
Mediante el diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall se determinó el porcentaje óptimo de modificante resultando ser esta el 2.0% de incorporación en peso de parachoques proveniente de vehículos (bumper) dando mejores resultados y el porcentaje adecuado de cemento asfáltico, analizando los parámetros volumétricos de Marshall, cumplen con las especificaciones de diseño Marshall para tráfico pesado con una energía de compactación realizada de 75 golpes por cara.

2.0 % BUMPER						
CRITERIOS DE DISEÑO (TRAFICO PESADO - 75 golpes ambas cara)						
				Especificaciones		Verificación
				Min	Max.	
<b>Peso Especifico</b>	2.400	gr/cc				
<b>Estabilidad</b>	1487.3	[kg]	3278.9 [lb]	1800[lb]	-	CUMPLE
<b>% Vacíos en la Mezcla</b>	3.60	%		3	5	CUMPLE
<b>% Vacíos en el Agreg.</b>	12.00	%		12	-	CUMPLE
<b>% Vacíos Con Asfalto</b>	69.94	%		65	75	CUMPLE
<b>Flujo</b>	0.34	cm =	13.386   0,01"	8	16	CUMPLE
<b>Porcentaje Óptimo De Cemento Asfáltico [%]</b>				5.7		

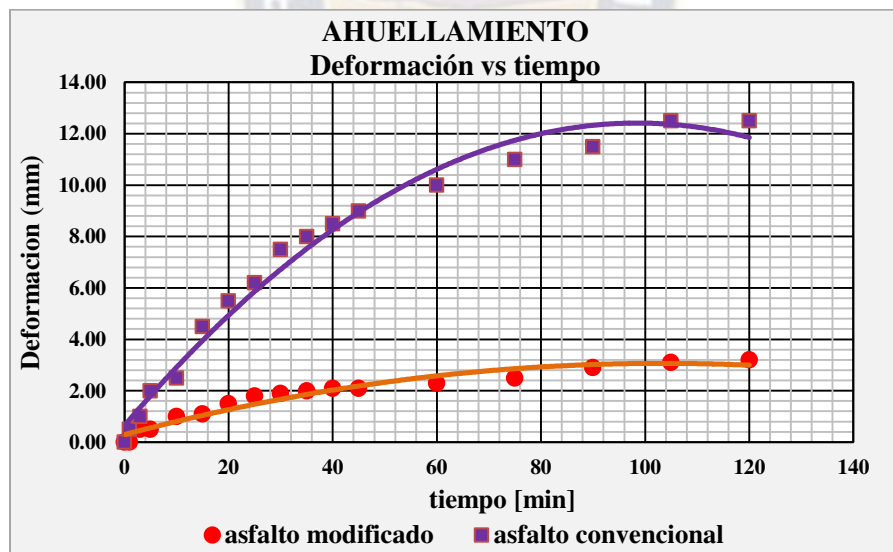
Se realizó el análisis técnico comparativo determinando los siguientes parámetros: mejora en las propiedades reológicas de asfalto convencional mencionados anteriormente y en el diseño de la mezcla asfáltica, determinando así el porcentaje óptimo ya mencionado. En el diseño de la mezcla asfáltica realizada para tráfico pesado, incrementa la estabilidad con el incremento de material modificante con respecto al cemento asfáltico original, y a mayor porcentaje de ésta la

## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)

mezcla tiende a rigidizarse, disminuye el porcentaje de vacíos en la mezcla, y existe la disminución de flujo lo cual significa que a mayor porcentaje de material modificante la mezcla tiende a volverse frágil, como se observa en los gráficos.



El ensayo de ahuellamiento se efectuó correctamente obteniendo los siguientes resultados:



**Gráfico 19: Resultado Comparativo de Ahuellamiento**

*Fuente:* Elaboración propia

Donde se puede observar el incremento a la resistencia de deformación plástica llegando a deformarse hasta 3.2 mm con modificante, de un ahuellamiento de 12.5 mm con asfalto convencional.

De acuerdo al diseño de mezcla realizada por el método Marshall podemos concluir que el asfalto modificado puede ser utilizado en zona bajas como valles y llanos debido a que no cumple con las especificaciones planteadas para zonas de altura.

El uso de material modificante de desecho proveniente de parachoques de vehículos concluimos que mejoró las propiedades del cemento asfáltico convencional Ecopetrol 60/70 de procedencia colombiana convirtiéndose en aliado en la investigación dando mejora en los resultados obtenidos, entonces se concluye que se puede dar uso a este material para que no sea eliminado de manera inadecuada para con el medio ambiente y así contribuimos a cuidar el nuestro planeta de estos desechos.

Realizado el análisis y comparación técnica de dos asfaltos modificados de procedencia colombiana y brasileña, se pudo evidenciar con los ensayos realizados en laboratorio en la caracterización, así como en el diseño de mezclas asfálticas a distintos porcentajes, el comportamiento es similar en ambos asfaltos, en los dos asfaltos modificados aumenta la consistencia, punto de ablandamiento y el punto de fragilidad Fraass disminuye casi en la misma proporción. La estabilidad y vacíos en mezclas asfálticas se comporta de manera similar, y en ambos asfaltos mejoró considerablemente la resistencia a la deformación (ahuellamiento).

Estos asfaltos modificados con material de desecho proveniente de parachoques de vehículos pueden resistir a bajas temperaturas, en el caso del cemento asfáltico colombiano modificado esta puede resistir hasta  $-22.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  y es mejor que el asfalto brasileño modificado con bumper. Realizando una comparación técnica con las especificaciones de cementos asfálticos polimerizados CAP según el método Superpave para el altiplano boliviano debe ser: según su grado de desempeño un asfalto PG 70-28 el cual fue propuesta por el Ing. Oscar Luis Perez Loayza. Entonces si bien el asfalto colombiano modificado en el presente proyecto de grado resiste a bajas temperaturas, pero aún no cumple con las especificaciones para altiplano boliviano.

## **8.2 RECOMENDACIONES**

Se recomienda hacer uso de este material modificante de desecho, proveniente de parachoques de vehículos como una alternativa en mejorar las características del asfalto y en eliminar este desecho con la reutilización, ya que mejora las características del asfalto virgen con la incorporación de 2.00% en peso de este material para zona bajas.

Tener el cuidado correspondiente en la modificación del asfalto tomando todas las medidas de seguridad correspondiente, así como en el transporte y colocado. También se debe tener cuidado en la temperatura de modificación que no debe ser superior a los 170°C ya que puede producirse un desgaste y/o envejecimiento inicial al asfalto en esta etapa, por consiguiente, es necesario controlar a cada momento la temperatura durante la modificación y mezclado antes de esta es importante la homogenización correspondiente en la fabricación de la mezcla asfáltica, así como el estricto control y cumplimiento en las temperaturas de mezclado y compactación.

Se recomienda efectuar el análisis químico correspondiente, como la espectroscopia al infrarrojo para la verificación del grado de homogeneidad que tiene el asfalto modificado, también se recomienda realizar el ensayo de Sara que consiste en realizar una cromatografía al asfalto par tener mayor confiabilidad en cuanto al comportamiento en la modificación a nivel molecular con la incorporación y modificación de material de desecho proveniente de parachoques de vehículos (bumper).

El asfalto a modificar debe estar sin restos de agua ya que el mismo a temperaturas mayores a ebullición el asfalto es peligroso, tienden a reventar y esparcir el asfalto, que puede producir quemaduras a las personas que se encuentren cerca.

Es necesario continuar con la investigación de la incorporación de material de desecho proveniente de parachoques de vehículos, usando para tal caso diferentes asfaltos convencionales de distintas procedencias como ser, peruana (Petroperú, Repsol YPF), brasileña (Ipiranga) y chilena (Asfalchile), que son refinerías que proveen cemento asfáltico al mercado Boliviano, variando además el grado de penetración de estas, ya sea 85-100, 120-150, recomendadas para climatología fría, tránsito pesado y moderado los cuales existe en nuestro medio.



## 9 BIBLIOGRAFÍA

- ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS. (2011). Manual de Ensayo de Suelos y Materiales. La Paz, Bolivia.
- ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS. (2016). *PLAN ESTRATÉGICO INSTITUCIONAL 2016 - 2020*. LAPAZ.
- Asfalto Modificado con Polímero*. (s.f.). Recuperado el Agosto de 2019, de Asfalto Modificado con Polímero: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/mxil\\_c\\_r/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/mxil_c_r/capitulo2.pdf)
- Asphalt Institute. (1992). PRINCIPIOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE. Lexington - Estados Unidos.
- Banco Mundial. (2012). *What a Waste*. Washington, DC: World Bank. [Base de Datos]. [En línea].  
Obtenido de  
[http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/3363871334852610766/What\\_a\\_Waste2012\\_Final.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/3363871334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf)
- Caballero Hoyos, J. F. (1998). *ASFALTOS "MANUAL DE ENSAYOS DE LABORATORIO I.E.M." - UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES*. La Paz.
- CERRUTO A. , F. (1999). *Guía de Ensayos: Agregados-Hormigón, 4ta Edición*. La Paz, Bolivia.
- Del Águila Rodríguez, P. (1999). *EXPERIENCIAS SOBRE EL DISEÑO Y CRITERIOS PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS EN ZONAS DE ALTURA*. Lima.
- Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., & Sandoval Sandoval, C. (2005). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS MARSHALL Y SUPERPAVE PARA COMPACTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS. Sanfandila, Qro, SECRETARÍA DE COMUNICACION: Publicación Técnica No 271.
- Ing. J. Marcelo, M. B. (s.f.). INFORME DE INVESTIGACION: VENTAJAS EN LA UTILIZACION DE ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS.
- Instituto Mexicano del Transporte. (s.f.). "Aspectos del Diseño Volumetrico de Mezclas Asfálticas". SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE. Publicidad Técnica Nº 246.
- J. Rogers Martin, H. A. (1963). *PAVIMENTOS ASFÁLTICOS (PROYECTO Y CONSTRUCCION)*. España: Aguilar.
- Kramer, C. (1999). CARRETERAS II. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Laboratorio nacional de vialidad. (2000). "LIGANTES ASFALTICOS Y SELLOS DE JUNTA". CURSO LABORATORISTA VIAL, VOLUMEN IV. Chile.
- López Laberian, M. E. (2004). "UTILIZACIÓN DE ADITIVOS POLÍMEROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES". Lima, Peru.

## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)

---

Padilla Rodriguez, A. (s.f.). MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Perez Loayza, O. L. (2004). *Laboratorio de Asfaltos (recopilación)*. La Paz, Bolivia.

Perez Loayza, O. L. (2015). ESPECIFICACIONES CEMENTO ASFALTICO POLIMERIZADO. La Paz, Bolivia.

Reyes Lizcano, F. A. (2003). *DISEÑO RACIONAL DE PAVIMENTOS*. Bogotá - Colombia: CEJA.

Rodríguez Chinchilla, A. G. (Julio de 2008). MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS.  
*MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS*. Guatemala.

Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *PAVIMENTOS MATERIALES, CONSTRUCCION Y DISEÑO*. MACRO.

Torres Valencia, O. (Mayo de 2004). Implementación de ensayos adicionales al actual método de diseño de mezclas asfálticas densas empleado en México. MONTERREY, N.L., MEXICO.

Vásquez, W. (02 de 09 de 2019). *Bolivia recicla el 18,2% de los residuos que recoge al año*.

Velasquez, M. (1970). *ASFALTOS*. La Habana: Ediciones de Ciencia y Tecnica.

Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico. Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (2011). Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia. Bolivia.

Villegas, R., Aguiar, J., & Loria, L. (28 de 02 de 2018). Diseño de mezcla asfáltica con materiales de desecho. *Revista Científico Tecnológica Departamento Ingeniería de Obras Civiles RIOC Vol 08, No 1/2018 ISSN 0719-0514 07*. San Pedro Montes de Oca, Costa Rica.

**ANEXOS**



## EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO ASFALTICO

**Proyecto :** PROYECTO DE GRADO  
**Procedencia :** Bitumen - ECOPETROL - Colombia  
**Tipo de muestra :** Cemento Asfaltico 60 -70  
**Laboratorista:** Coyo Quispe Elio  
**Fecha:** Octubre 2018

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS	Método utilizado	Valores Obtenidos en Laboratorio				Especificación ASTM D-946	Verificación	
		1	2	3	Prom.			
Peso Especifico [gr/cm <sup>3</sup> ]	ASTM D -70	1.011	1.010	-	1.010	0,94 - 1,04 *	CUMPLE	
Penetracion a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]	ASTM D -5	72	71	72	72	60 - 70	NO CUMPLE	
Punto de Inflamacion (Vaso abierto de Cleveland) [°C]	ASTM D-92	243	243	-	243	Min. 232	CUMPLE	
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 cm/min. [cm]	ASTM D-113	147	150	150	150	Min. 100	CUMPLE	
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	47.25	47.75	-	47.5	43 -53 *	CUMPLE	
Solubilidad en tricloroetileno [%]	ASTM D-78	99.60	99.60	-	99.60	Min 99,0	CUMPLE	
Ensayo sobre la Pelicula Delgada	Perdida por Calentamiento [%]	ASTM D-1754	0.106	-	-	0.106	Max. 0.8	CUMPLE
	Penetracion [%] min. del Original	ASTM D-5	67	68	67	67	Min. 54	CUMPLE
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	53.5	54	-	53.75	43 - 53*	NO CUMPLE
Ensayo de la Mancha (30% xileno y 70% heptano)	AASHTO T-102	Negativo	Negativo	-	Negativo	Negativo	CUMPLE	
Recuperación elastica (%)	ASTM D-6084	11.5	10.0	11.0	10.8			
Punto de Fragilidad Fraass	IP 80-53	-19.5	-	-	-19.5			
Indice de Penetracion		-0.993	-	-	-0.99	-1 a 1 *	CUMPLE	
					-0.99	-1,5 - 0,5 **	CUMPLE	
Viscosidad Rotacional Brookfield, 135°C (cP)	ASTM D-4402	300	300.0	-	300	Max. 2000	CUMPLE	
Viscosidad Rotacional Brookfield, 155°C (cP)	T72 D88	161	163	-	162			
Viscosidad Rotacional Brookfield, 175°C (cP)	T72 D88	68	68	-	68			

\* Valores obtenidos de las Normas Chilenas

\*\* Valores obtenidos de las Normas Argentinas



**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO MODIFICADO CON 1.5% BUMPER**

**Proyecto :** PROYECTO DE GRADO **Laboratorista:** Coyo Quispe Elio  
**Tipo de muestra :** Asfalto Modificado con 1.5% Bumper **Fecha:** Noviembre 2018

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS		Método utilizado	Valores Obtenidos en Laboratorio			
			1	2	3	Prom.
Peso Específico [gr/cm <sup>3</sup> ]		ASTM D -70	1.010	1.010	-	<b>1.010</b>
Penetracion a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]		ASTM D -5	54	55	54	<b>54</b>
Punto de Inflamacion (Vaso abierto de Cleveland) [°C]		ASTM D-92	234	233	-	<b>233</b>
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 cm/min. [cm]		ASTM D-113	62.9	60.8	61.8	<b>61.8</b>
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]		ASTM D-36	52.2	52.2	-	<b>52.2</b>
Ensayo sobre la Película Delgada Rotatoria (RTFOT)	Perdida por Calentamiento [%]	ASTM D-1754	0.042	-	-	<b>0.042</b>
	Penetracion [%] min. del Original	ASTM D-5	67	65	69	<b>67</b>
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	61.2	61.2	-	<b>61.2</b>
Recuperación elástica [%]		ASTM D-6084	11.5	10.0	11.5	<b>11.0</b>
Punto de Fragilidad Fraass [°C]		IP 80-53	-20.8	-	-	<b>-20.8</b>
Indice de Penetracion			-0.47	-	-	<b>-0.47</b>
Viscosidad Rotacional Brookfield, 135°C (cP)		ASTM D-4402	762	755.0	-	<b>758</b>
Viscosidad Rotacional Brookfield, 155°C (cP)		T72 D88	209	208	-	<b>208</b>
Viscosidad Rotacional Brookfield, 175°C (cP)		T72 D88	84	83	-	<b>83</b>
Estabilidad al Almacenamiento	Penetración a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]					
	Superior	ASTM D-5	51	54	-	<b>52</b>
	Inferior		52	53	-	<b>52</b>
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]					
	Superior	ASTM D-36	51.5	52.0	-	<b>51.8</b>
Inferior	51.0		50.5	-	<b>50.8</b>	





**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO MODIFICADO CON 2.0% BUMPER**

Proyecto : PROYECTO DE GRADO Laboratorista: Coyo Quispe Elio  
Tipo de muestra : Asfalto Modificado con 2.0% Bumper Fecha: Noviembre 2018

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS		Metodo utilizado	Valores Obtenidos en Laboratorio			
			1	2	3	Prom.
Peso Especifico [gr/cm <sup>3</sup> ]		ASTM D -70	1.011	1.010	---	<b>1.010</b>
Penetracion a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]		ASTM D -5	49	49	48	<b>48</b>
Punto de Inflamacion (Vaso abierto de Cleveland) [°C]		ASTM D-92	234	235	---	<b>234</b>
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 cm/min. [cm]		ASTM D-113	42.6	42.8	42.9	<b>42.8</b>
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]		ASTM D-36	54.2	54.2	---	<b>54.2</b>
Ensayo sobre la Pelicula Delgada	Perdida por Calentamiento [%]	ASTM D-1754	0.033	---	---	<b>0.033</b>
	Penetracion [%] min. del Original	ASTM D-5	71	73	74	<b>73</b>
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	63	63	---	<b>63.0</b>
Recuperación elástica [%]		ASTM D-6084	11.5	12.0	12.0	<b>11.8</b>
Punto de Fragilidad Fraass [°C]		IP 80-53	-22.3	-	-	<b>-22.3</b>
Indice de Penetracion			-0.282	---	---	<b>-0.28</b>
Viscosidad Rotacional Brookfield, 135°C (cP)		ASTM D-4402	797	790.0	---	<b>793</b>
Viscosidad Rotacional Brookfield, 155°C (cP)		T72 D88	242	238	---	<b>240</b>
Viscosidad Rotacional Brookfield, 175°C (cP)		T72 D88	100	99	---	<b>99</b>
Estabilidad al Almacenamiento	Penetración a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]					
	Superior	ASTM D-5	49	47	-	<b>48</b>
	Inferior		50	51	-	<b>50</b>
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]					
	Superior	ASTM D-36	54.0	54.0	-	<b>54.0</b>
Inferior	52.0		52.5	-	<b>52.2</b>	



**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO MODIFICADO CON 3.0% BUMPER**

**Proyecto :** PROYECTO DE GRADO **Laboratorista:** Coyo Quispe Elio  
**Tipo de muestra :** Asfalto Modificado con 3.0% Bumper **Fecha:** Diciembre 2018

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS		Metodo utilizado	Valores Obtenidos en Laboratorio			
			1	2	3	Prom.
Peso Especifico [gr/cm <sup>3</sup> ]		ASTM D -70	1.010	1.011	---	<b>1.010</b>
Penetracion a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]		ASTM D -5	47	49	48	<b>48</b>
Punto de Inflamación (Vaso abierto de Cleveland) [°C]		ASTM D-92	235	234	---	<b>234</b>
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 cm/min. [cm]		ASTM D-113	28.4	28.4	28.5	<b>28.4</b>
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]		ASTM D-36	55.5	56.0	---	<b>55.8</b>
Ensayo sobre la Pelicula Delgada	Perdida por Calentamiento [%]	ASTM D-1754	0.034	---	---	<b>0.034</b>
	Penetracion [%] min. del Original	ASTM D-5	69	68	70	<b>69</b>
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	65.0	65.5	---	<b>65.3</b>
Recuperación elástica [%]		ASTM D-6084	12.0	11.0	11.5	<b>11.5</b>
Punto de Fragilidad Fraass [°C]		IP 80-53	-23.8	-	-	<b>-23.8</b>
Indice de Penetracion			0.032	---	---	<b>0.03</b>
Viscosidad Rotacional Brookfield, 135°C (cP)		ASTM D-4402	947	930.0	---	<b>938</b>
Viscosidad Rotacional Brookfield, 155°C (cP)		T72 D88	291	289	---	<b>290</b>
Viscosidad Rotacional Brookfield, 175°C (cP)		T72 D88	127	123	---	<b>125</b>
Estabilidad al Almacenamiento	Penetración a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]					
	Superior	ASTM D-5	41	42	-	<b>42</b>
	Inferior		46	46	-	<b>46</b>
	Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]					
	Superior	ASTM D-36	58.0	58.5	-	<b>58.3</b>
	Inferior		54.5	55.5	-	<b>55.0</b>



**EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGREGADO**

**PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO DE LA GRANULOMETRIA**

**PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO ASTM C-127**

**GRAVA**

MUESTRA Nro.	1	2
Peso recipiente seco	329	323.8
Peso muestra saturada superficialmente seca B=	4139.800	4211.800
Peso muestra + canastilla (sumergidos) C1=	3487.300	3529.500
Peso canastillo sumergido C2=	885.200	885.200
Peso muestra sumergida C=C1-C2=	2602.100	2644.300
Peso igual volumen de agua D=B-C=	1537.700	1567.500
Peso Especifico G <sub>ss</sub> =B/D=	2.692	2.687
<b>PESO ESPECIFICO PROMEDIO G<sub>ss</sub>=</b>	<b>2.690</b>	
Peso Especifico seco G <sub>s</sub> =A/D=	2.663	2.658
<b>PESO ESPECIFICO SECO PROMEDIO</b>	<b>2.660</b>	

**ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO ASTM C-127**

Peso muestra secada al Horno + recipiente	4423.200	4489.500
Peso muestra secada al Horno A=	4094.200	4165.700
Peso agua Absorbida E=B-A=	45.600	46.100
Absorcion en porcentaje (E/A)*100=	1.114	1.107
<b>ABSORCION PROMEDIO en %</b>	<b>1.110</b>	

**PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO ASTM C-127**

**GRAVILLA**

MUESTRA Nro.	1	2
Peso recipiente seco	176.4	284.5
Peso muestra saturada superficialmente seca B=	1750.8	2142.6
Peso muestra + canastilla (sumergidos) C1=	1781.2	2025.1
Peso canastillo sumergido C2=	682.4	685.1
Peso muestra sumergida C=C1-C2=	1098.8	1340.0
Peso igual volumen de agua D=B-C=	652.0	802.6
Peso Especifico G <sub>ss</sub> =B/D=	2.7	2.7
<b>PESO ESPECIFICO PROMEDIO G<sub>ss</sub>=</b>	<b>2.677</b>	
Peso Especifico seco G <sub>s</sub> =A/D=	2.643	2.628
<b>PESO ESPECIFICO SECO PROMEDIO</b>	<b>2.635</b>	

**ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO GRAVILLA ASTM C-127**

Peso muestra secada al Horno + recipiente	1899.500	2393.900
Peso muestra secada al Horno A=	1723.100	2109.400
Peso agua Absorbida E=B-A=	27.700	33.200
Absorcion en porcentaje (E/A)*100=	1.608	1.574
<b>ABSORCION PROMEDIO en %</b>	<b>1.591</b>	



**EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGREGADO**

**PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO DE LA GRANULOMETRIA**

**PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO ASTM C-128**

**PARTE FINO DE LA "GRAVILLA" PASA TAMIZ N°4**

MUESTRA Nro.	1	2
Peso del recipiente	96.000	111.100
Peso frasco volumetrico A=	131.400	131.400
Peso frasco lleno de agua B=	630.500	630.500
Peso muestra saturada superficialmente seca P=	255.600	263.100
Peso frasco+ agua + muestra C=	785.500	790.500
Peso agua añadida W=C-A-P=	398.500	396.000
Capacidad del frasco V=B-A=	499.100	499.100
Peso del agua desplazada Pw=V-W=	100.600	103.100
Peso Especifico sss G <sub>sss</sub> =P/Pw=	2.541	2.552
<b>PESO ESPECIFICO sss PROMEDIO G<sub>sss</sub>=</b>	<b>2.546</b>	
Peso Especifico seco G <sub>s</sub> =D/Pw=	2.470	2.491
<b>PESO ESPECIFICO SECO PROMEDIO</b>	<b>2.480</b>	

**ABSORCION DEL AGREGADO FINO ASTM C-128**

Peso muestra secada al Horno + recipiente	344.500	367.900
Peso muestra secada al Horno D=	248.500	256.800
Peso agua Absorbida E=P-D=	7.100	6.300
Absorcion en porcentaje (E/D)*100=	2.857	2.453
<b>ABSORCION PROMEDIO en %</b>	<b>2.655</b>	

**ARENA**

MUESTRA Nro.	1	2
Peso del recipiente	127.400	106.200
Peso frasco volumetrico A=	131.600	131.600
Peso frasco lleno de agua B=	630.900	630.600
Peso muestra saturada superficialmente seca P=	413.400	411.000
Peso frasco+ agua + muestra C=	887.000	883.900
Peso agua añadida W=C-A-P=	342.000	341.300
Capacidad del frasco V=B-A=	499.300	499.000
Peso del agua desplazada Pw=V-W=	157.300	157.700
Peso Especifico sss G <sub>sss</sub> =P/Pw=	2.628	2.606
<b>PESO ESPECIFICO sss PROMEDIO G<sub>sss</sub>=</b>	<b>2.617</b>	
Peso Especifico seco G <sub>s</sub> =D/Pw=	2.575	2.549
<b>PESO ESPECIFICO SECO PROMEDIO</b>	<b>2.562</b>	

**ABSORCION DEL AGREGADO FINO ASTM C-128**

Peso muestra secada al Horno + recipiente	532.500	508.200
Peso muestra secada al Horno D=	405.100	402.000
Peso agua Absorbida E=P-D=	8.300	9.000



**EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGREGADO**

**PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO DE LA GRANULOMETRIA**

**PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO ASTM C-127**

**GRAVA**

MUESTRA Nro.	1	2
Peso recipiente seco	329	323.8
Peso muestra saturada superficialmente seca B=	4139.800	4211.800
Peso muestra + canastilla (sumergidos) C1=	3487.300	3529.500
Peso canastillo sumergido C2=	885.200	885.200
Peso muestra sumergida C=C1-C2=	2602.100	2644.300
Peso igual volumen de agua D=B-C=	1537.700	1567.500
Peso Especifico G <sub>ss</sub> =B/D=	2.692	2.687
<b>PESO ESPECIFICO PROMEDIO G<sub>ss</sub>=</b>	<b>2.690</b>	
Peso Especifico seco G <sub>s</sub> =A/D=	2.663	2.658
<b>PESO ESPECIFICO SECO PROMEDIO</b>	<b>2.660</b>	

**ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO ASTM C-127**

Peso muestra secada al Horno + recipiente	4423.200	4489.500
Peso muestra secada al Horno A=	4094.200	4165.700
Peso agua Absorbida E=B-A=	45.600	46.100
Absorcion en porcentaje (E/A)*100=	1.114	1.107
<b>ABSORCION PROMEDIO en %</b>	<b>1.110</b>	

**PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO ASTM C-127**

**GRAVILLA**

MUESTRA Nro.	1	2
Peso recipiente seco	176.4	284.5
Peso muestra saturada superficialmente seca B=	1750.8	2142.6
Peso muestra + canastilla (sumergidos) C1=	1781.2	2025.1
Peso canastillo sumergido C2=	682.4	685.1
Peso muestra sumergida C=C1-C2=	1098.8	1340.0
Peso igual volumen de agua D=B-C=	652.0	802.6
Peso Especifico G <sub>ss</sub> =B/D=	2.7	2.7
<b>PESO ESPECIFICO PROMEDIO G<sub>ss</sub>=</b>	<b>2.677</b>	
Peso Especifico seco G <sub>s</sub> =A/D=	2.643	2.628
<b>PESO ESPECIFICO SECO PROMEDIO</b>	<b>2.635</b>	

**ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO GRAVILLA ASTM C-127**

Peso muestra secada al Horno + recipiente	1899.500	2393.900
Peso muestra secada al Horno A=	1723.100	2109.400
Peso agua Absorbida E=B-A=	27.700	33.200
Absorcion en porcentaje (E/A)*100=	1.608	1.574
<b>ABSORCION PROMEDIO en %</b>	<b>1.591</b>	





**EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGREGADO**

**PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO DE LA GRANULOMETRIA**

**PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO ASTM C-128**

**PARTE FINO DE LA "GRAVILLA" PASA TAMIZ N°4**

MUESTRA Nro.	1	2
Peso del recipiente	96.000	111.100
Peso frasco volumetrico A=	131.400	131.400
Peso frasco lleno de agua B=	630.500	630.500
Peso muestra saturada superficialmente seca P=	255.600	263.100
Peso frasco+ agua + muestra C=	785.500	790.500
Peso agua añadida W=C-A-P=	398.500	396.000
Capacidad del frasco V=B-A=	499.100	499.100
Peso del agua desplazada Pw=V-W=	100.600	103.100
Peso Especifico sss Gsss=P/Pw=	2.541	2.552
<b>PESO ESPECIFICO sss PROMEDIO Gsss=</b>	<b>2.546</b>	
Peso Especifico seco Gs=D/Pw=	2.470	2.491
<b>PESO ESPECIFICO SECO PROMEDIO</b>	<b>2.480</b>	

**ABSORCION DEL AGREGADO FINO ASTM C-128**

Peso muestra secada al Horno + recipiente	344.500	367.900
Peso muestra secada al Horno D=	248.500	256.800
Peso agua Absorbida E=P-D=	7.100	6.300
Absorcion en porcentaje (E/D)*100=	2.857	2.453
<b>ABSORCION PROMEDIO en %</b>	<b>2.655</b>	

**ARENA**

MUESTRA Nro.	1	2
Peso del recipiente	127.400	106.200
Peso frasco volumetrico A=	131.600	131.600
Peso frasco lleno de agua B=	630.900	630.600
Peso muestra saturada superficialmente seca P=	413.400	411.000
Peso frasco+ agua + muestra C=	887.000	883.900
Peso agua añadida W=C-A-P=	342.000	341.300
Capacidad del frasco V=B-A=	499.300	499.000
Peso del agua desplazada Pw=V-W=	157.300	157.700
Peso Especifico sss Gsss=P/Pw=	2.628	2.606
<b>PESO ESPECIFICO sss PROMEDIO Gsss=</b>	<b>2.617</b>	
Peso Especifico seco Gs=D/Pw=	2.575	2.549
<b>PESO ESPECIFICO SECO PROMEDIO</b>	<b>2.562</b>	

**ABSORCION DEL AGREGADO FINO ASTM C-128**

Peso muestra secada al Horno + recipiente	532.500	508.200
Peso muestra secada al Horno D=	405.100	402.000
Peso agua Absorbida E=P-D=	8.300	9.000
Absorcion en porcentaje (E/D)*100=	2.049	2.239
<b>ABSORCION PROMEDIO en %</b>	<b>2.144</b>	



**DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO CON LA MAQUINA DE LOS ANGELES ASTM C-131**

GRADACION	NUMERO DE ESFERAS A COLOCARSE, 32 r.p.m.			
	A	B	C	D
CARGA ABRASIVA CON:	12	11	8	6

**GRAVA**

Ensayo tipo : B      Peso c/esferas = 414.4 gr.      Tiempo = 15 min.  
N° esferas = 11      Peso esferas = 4558.4 gr.      N° rev. = 500

Pasa	Retenido	Peso
3/4	1/2	2502.1
1/2	3/8	2501.8
Peso Total		5003.9
Retenido tamiz N° 12		4022.5
Diferencia		981.4
Desgaste %		19.6

< 40%      CUMPLE

**GRAVILLA**

Ensayo tipo : C      Peso c/esferas = 414.4 gr.      Tiempo = 15 min.  
N° esferas = 8      Peso esferas = 4558.4 gr.      N° rev. = 500

Pasa	Retenido	Peso
3/8	1/4	2500.7
1/4	N° 4	2500.1
Peso Total		5000.8
Retenido tamiz N° 12		3967.5
Diferencia		1033.3
Desgaste %		20.7

< 40%      CUMPLE



**PORCENTAJE DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS ASTM D-4791**

**GRAVA**

MATERIAL		% RETENIDO PARCIAL	PESO (gr.)		% PARTICULAS IRREGULARES	% PARTICULAS CORREGIDAS
PASA	RETENIDO		INICIAL	IRREGULAR		
3/4	1/2	87.37	700.40	80.80	11.54	10.08
1/2	3/8	9.93	300.40	67.20	22.37	2.22
<b>TOTAL</b>			<b>1000.80</b>	<b>148.00</b>		<b>12.30</b>

**GRAVILLA**

MATERIAL		% RETENIDO PARCIAL	PESO (gr.)		% PARTICULAS IRREGULARES	% PARTICULAS CORREGIDAS
PASA	RETENIDO		INICIAL	IRREGULAR		
1/2	3/8	5.86	228.30	3.90	1.71	0.10
3/8	N° 4	53.36	397.60	11.20	2.82	1.50
<b>TOTAL</b>			<b>625.90</b>	<b>15.10</b>		<b>1.60</b>

**PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS**

**GRAVA**

MATERIAL		% RETENIDO PARCIAL	PESO (gr.)		% PARTICULAS IRREGULARES	% PARTICULAS CORREGIDAS
PASA	RETENIDO		INICIAL	IRREGULAR		
1"	3/4"	43.83	308.20	121.40	39.39	17.26
3/4"	1/2"	43.54	212.30	120.50	56.76	24.72
1/2"	3/8 "	9.93	201.40	134.70	66.88	6.64
3/8 "	N° 4	1.94	0.00	0.00	-	-
<b>TOTAL</b>			<b>721.90</b>	<b>376.60</b>		<b>48.62</b>

**GRAVILLA**

MATERIAL		% RETENIDO PARCIAL	PESO (gr.)		% PARTICULAS IRREGULARES	% PARTICULAS CORREGIDAS
PASA	RETENIDO		INICIAL	IRREGULAR		
1/2	3/8	5.86	228.30	223.60	97.94	5.74
3/8	N° 4	53.36	397.60	390.60	98.24	52.42
<b>TOTAL</b>			<b>625.90</b>	<b>614.20</b>		<b>58.17</b>

**VALORES DE EQUIVALENTE DE ARENA DEL AGREGADO FINO ASTM D-2419**

**ARENA**

EQUIVALENTE ARENA		
Muestra No.	1	2
Nivel Superior	5.3	4.7
Nivel Inferior	4.0	4.2
Equivalente de Arena E.A.	75.5	89.4
E. A. Promedio (%)	82.4	



### EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Proyecto : PROYECTO DE GRADO

Procedencia : Peñas

Jefe de Area: Msc. Ing. Oscar Luis Perez Loayza

Tipo de muestra : Agregado Grueso

Laboratorista: Univ. Coyo Quispe Elio

### ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO GRUESO ASTM C-136

Tamaño Maximo de Particula = 3/4"

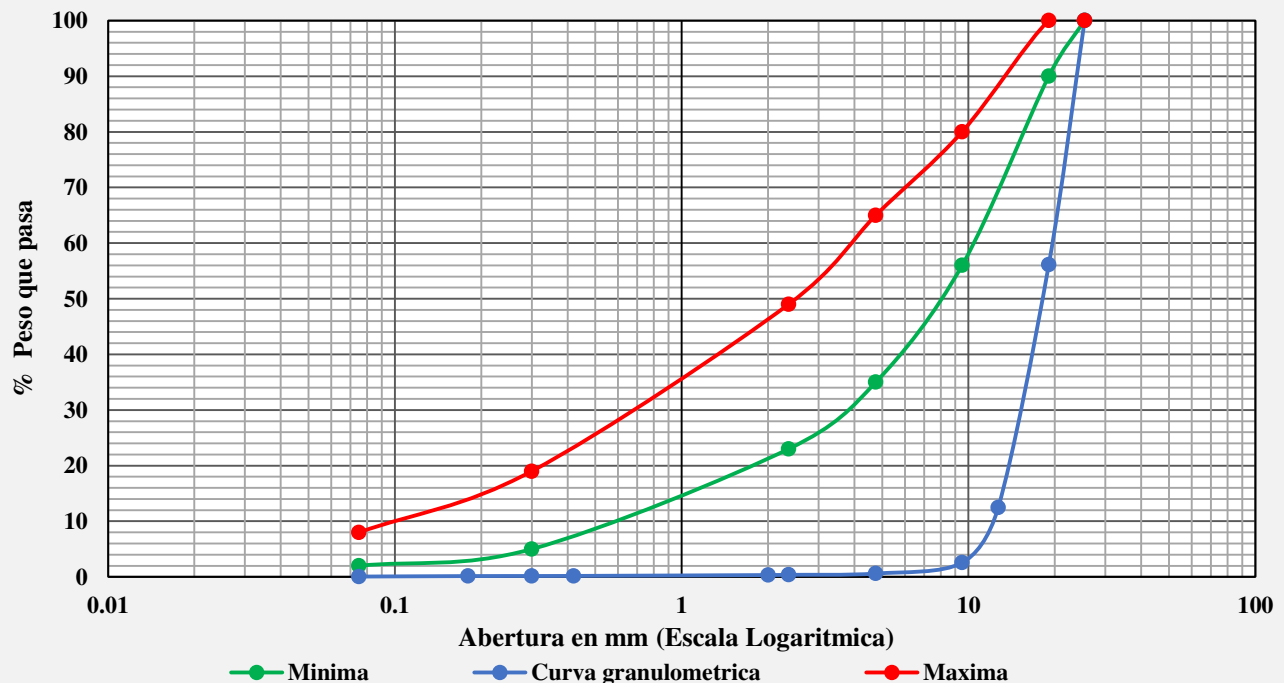
Tamaño Maximo Nominal = 3/4"

Peso Inicial 5304.7 gr

TAMIZ	Abertura [mm]	Peso Retenido[g]	Retenido Acumulado	% Retenido Acumulado	Peso que Pasa [g]	% Peso que pasa [%]	ASTM D-3515 Especificaciones	
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	5304.70	100.00	100	100
3/4"	19.050	2323.45	2323.45	43.80	2981.25	56.10	90	100
1/2"	12.700	2308.45	4631.90	87.32	672.80	12.49		
3/8 "	9.500	526.25	5158.15	97.24	146.55	2.55	56	80
N° 4	4.750	102.95	5261.10	99.18	43.60	0.61	35	65
N° 8	2.360	12.40	5273.50	99.41	31.20	0.37	23	49
N° 10	2.000	2.15	5275.65	99.45	29.05	0.33		
N° 40	0.420	8.20	5283.85	99.61	20.85	0.18		
N° 50	0.300	0.65	5284.50	99.62	20.20	0.16	5	19
N° 80	0.180	0.90	5285.40	99.64	19.30	0.15		
N° 200	0.075	4.35	5289.75	99.72	14.95	0.06	2	8
Pasa N° 200		11.55						
<b>TOTAL</b>		5301.30						

Perdidas = 0.06%

### CURVA GRANULOMETRICA





### EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Proyecto : PROYECTO DE GRADO  
 Procedencia : Palcoco Jefe de Area: Msc. Ing. Oscar Luis Perez Loayza  
 Tipo de muestra : Agregado Grueso Laboratorista: Univ. Coyo Quispe Elio

### ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO GRUESO ASTM C-136 (GRAVILLA)

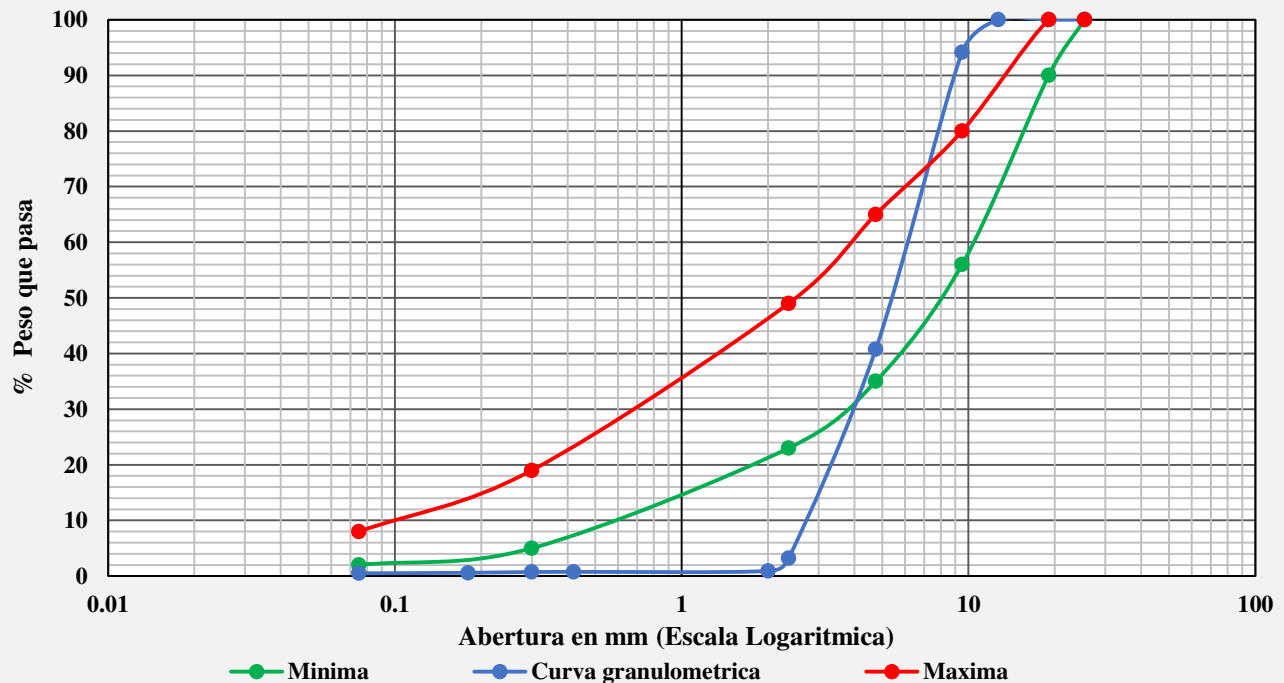
Tamaño Maximo de Particula = 3/8"  
 Tamaño Maximo Nominal =

Peso Inicial 4835.5 gr

TAMIZ	Abertura [mm]	Peso Retenido[g]	Retenido Acumulado	%Retenido Acumulado	Peso que Pasa [g]	% Peso que pasa [%]	ASTM D-3515 Especificaciones	
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	4835.50	100.00	100	100
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	4835.50	100.00	90	100
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	4835.50	100.00		
3/8 "	9.500	283.40	283.40	5.86	4552.10	94.14	56	80
Nº 4	4.750	2579.80	2863.20	59.21	1972.30	40.77	35	65
Nº 8	2.360	1817.10	4680.30	96.79	155.20	3.19	23	49
Nº 10	2.000	109.50	4789.80	99.05	45.70	0.92		
Nº 40	0.420	8.00	4797.80	99.22	37.70	0.76		
Nº 50	0.300	1.00	4798.80	99.24	36.70	0.73	5	19
Nº 80	0.180	7.00	4805.80	99.39	29.70	0.59		
Nº 200	0.075	4.70	4810.50	99.48	25.00	0.49	2	8
Pasa Nº 200		23.80						
<b>TOTAL</b>		4834.30						

Perdidas =	<b>0.02%</b>
------------	--------------

### CURVA GRANULOMETRICA







### EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Proyecto : PROYECTO DE GRADO

Procedencia : Palcoco

Jefe de Area: Msc. Ing. Oscar Luis Perez Loayza

Tipo de muestra : Agregado Fino

Laboratorista: Univ. Coyo Quispe Elio

### ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO FINO PASA TAMIZ N°4 (GRAVILLA)

Tamaño Maximo de Particula = N°10

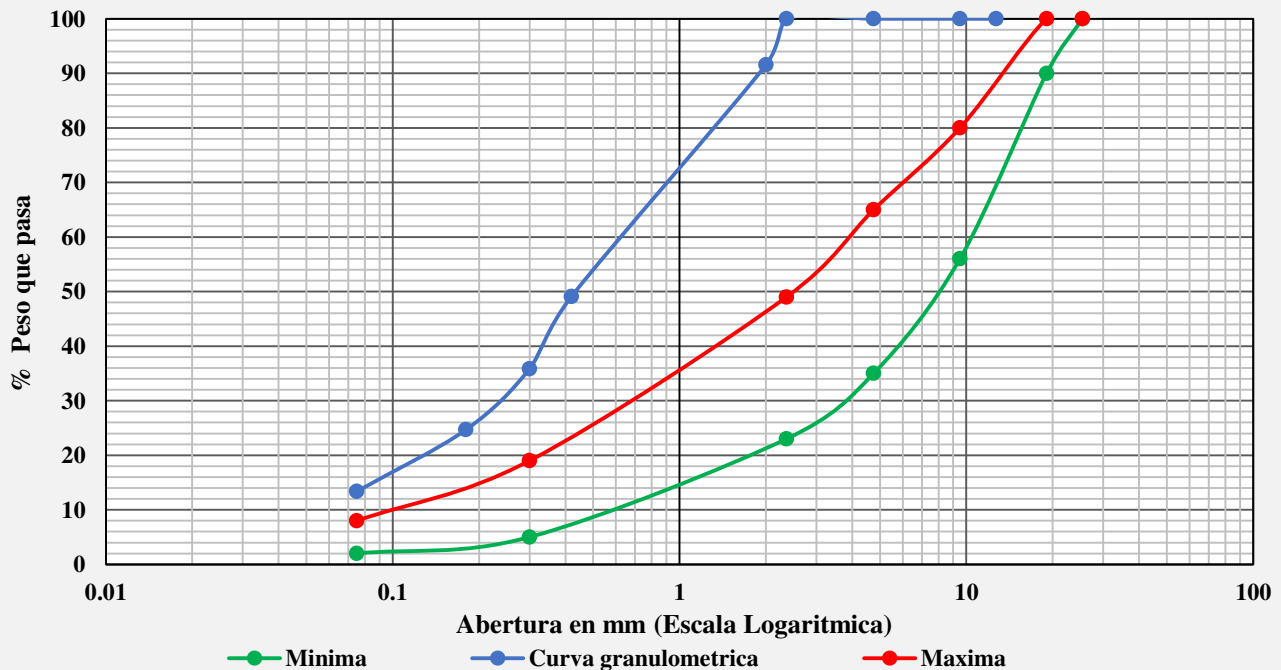
Tamaño Maximo Nominal =

Peso Inicial 2603.7 gr

TAMIZ	Abertura [mm]	Peso Retenido[g]	Retenido Acumulado	% Retenido Acumulado	Peso que Pasa [g]	% Peso que pasa [%]	ASTM D-3515 Especificaciones	
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	2603.70	100.00		
3/8 "	9.500	0.00	0.00	0.00	2603.70	100.00	56	80
N° 4	4.750	0.00	0.00	0.00	2603.70	100.00	35	65
N° 8	2.360	0.00	0.00	0.00	2603.70	100.00	23	49
N° 10	2.000	220.10	220.10	8.45	2383.60	91.54		
N° 40	0.420	1104.80	1324.90	50.89	1278.80	49.09		
N° 50	0.300	344.00	1668.90	64.10	934.80	35.87	5	19
N° 80	0.180	291.10	1960.00	75.28	643.70	24.68		
N° 200	0.075	294.30	2254.30	86.58	349.40	13.37	2	8
Pasa N° 200		348.00						
<b>TOTAL</b>		2602.30						

Perdidas = 0.05 %

### CURVA GRANULOMETRICA





### EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Proyecto : PROYECTO DE GRADO  
 Procedencia : Vilaque Jefe de Area: Msc. Ing. Oscar Luis Perez Loayza  
 Tipo de muestra : Agregado Fino Laboratorista: Univ. Coyo Quispe Elio

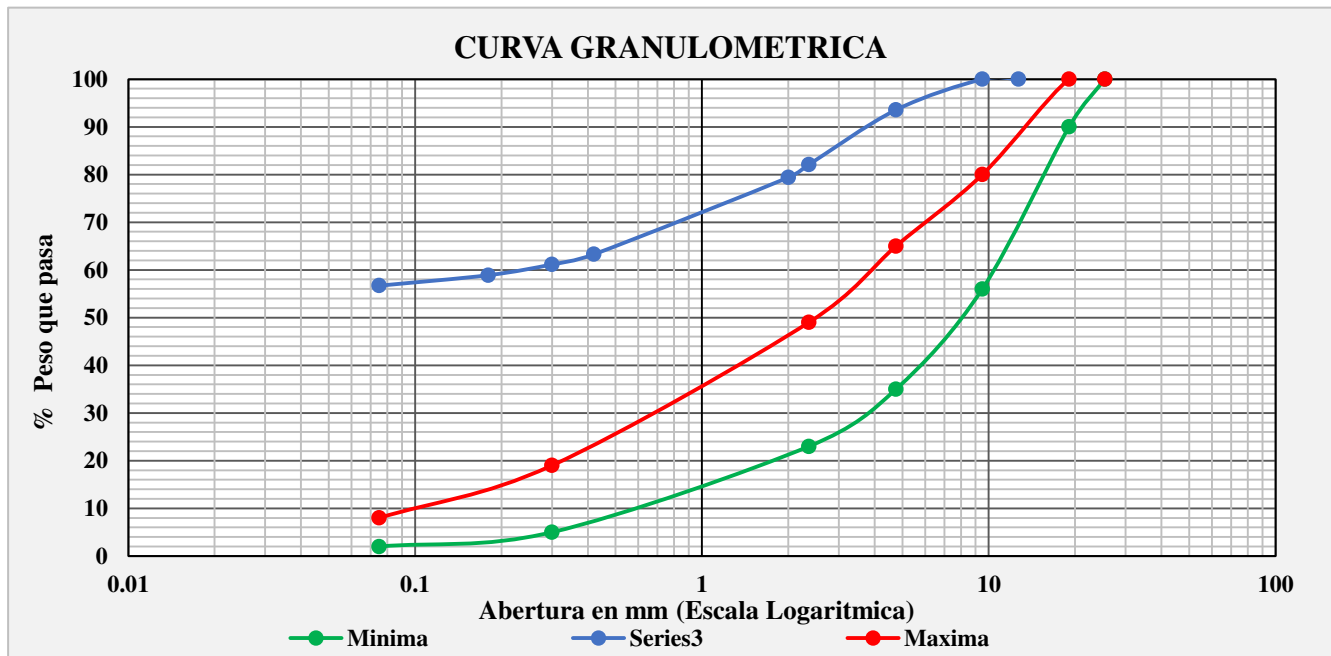
### ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO: ARENA

Tamaño Maximo de Particula = N°8  
 Tamaño Maximo Nominal =

Peso Inicial 1173.2 gr

TAMIZ	Abertura [mm]	Peso Retenido[g]	Retenido Acumulado	% Retenido Acumulado	Peso que Pasa [g]	% Peso que pasa [%]	ASTM D-3515 Especificaciones	
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	2603.70	100.00		
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	2603.70	100.00	56	80
N° 4	4.750	167.60	167.60	6.44	2436.10	93.56	35	65
N° 8	2.360	298.60	466.20	17.91	2137.50	82.09	23	49
N° 10	2.000	70.30	536.50	20.61	2067.20	79.38		
N° 40	0.420	419.25	955.75	36.71	1647.95	63.27		
N° 50	0.300	55.25	1011.00	38.83	1592.70	61.15	5	19
N° 80	0.180	58.65	1069.65	41.08	1534.05	58.90		
N° 200	0.075	57.25	1126.90	43.28	1476.80	56.70	2	8
Pasa N° 200		43.85						
<b>TOTAL</b>		1170.75						

Perdidas = 0.21%

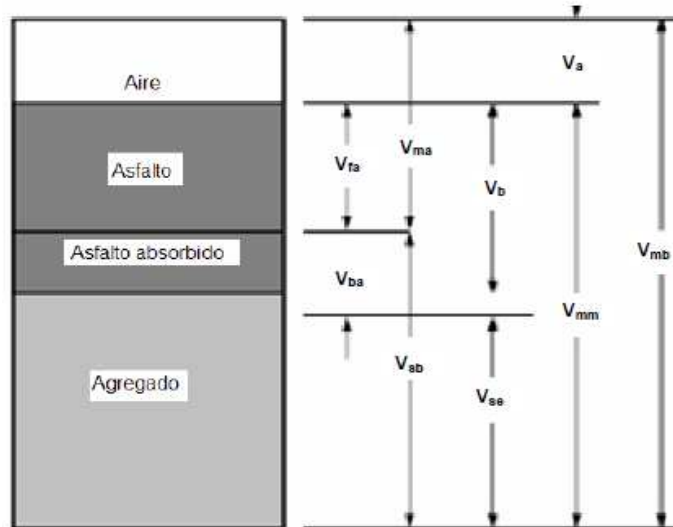




## PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE MEZCLAS COMPACTADAS

### REPRESENTACION DE LOS VOLUMENES EN LA MEZCLA ASFÁLTICA

En la siguiente figura se realiza un diagrama de los componentes de una mezcla asfáltica compactada.



Donde:

- $V_{ma}$  = volumen de vacios en agregado mineral
- $V_{mb}$  = volumen total de la mezcla asfáltica
- $V_{mm}$  = volumen de la mezcla asfáltica sin vacios
- $V_{fa}$  = volumen de vacios llenados con asfalto
- $V_a$  = volumen de vacios de aire
- $V_b$  = volumen de asfalto
- $V_{ba}$  = volumen de asfalto absorbido
- $V_{sb}$  = volumen de agregado mineral (gravedad específica de la masa)
- $V_{se}$  = volumen de agregado mineral (gravedad efectiva)

### Peso específica bulk de la combinación de agregados en la mezcla “Gsb”

Cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas (por ejemplo, grueso y fino), el valor de la gravedad específica promedio se calcula con la siguiente ecuación:

$$Gsb = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Dónde:

- Gsb Gravedad específica promedio
- G1, G2, ....., Gn Valores de gravedad específica por fracción 1, 2, ....., n
- P1, P2, ....., Pn Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2, ....., n

### Peso Específico Efectiva del Agregado “Gse”

El procedimiento para determinar la gravedad específica efectiva no está normado por AASHTO o ASTM. Los valores se obtienen a partir del cálculo de la gravedad específica teórica máxima de



mezclas asfálticas (Gmm) ASTM D-2041, éste ensayo se realiza sobre mezclas sueltas, de esa manera se eliminan los vacíos de aire.

$$G_{se} = \frac{1 - P_b}{\frac{1}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Dónde:

- P<sub>b</sub> contenido de asfalto del ASTM D2041, porcentaje del peso total de la mezcla.  
 G<sub>b</sub> Gravedad específica del cemento asfáltico.  
 G<sub>mm</sub> Gravedad específica teórica máxima de la mezcla (ASTM D2041), no incluye los vacíos de aire.

### Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla para otros contenidos de asfalto “G<sub>smc</sub>”

En el diseño de mezclas con un agregado dado, se requiere conocer la gravedad específica teórica máxima, para cada contenido de asfalto, y de esta manera calcular el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto.

$$G_{smc} = \frac{1}{\frac{1 - P_b}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Dónde:

- G<sub>smc</sub> Gravedad específica teórica máxima  
 P<sub>b</sub> Contenido de asfalto del ASTM D2041, porcentaje del peso total de la mezcla  
 G<sub>b</sub> Gravedad específica del cemento asfáltico  
 G<sub>se</sub> Gravedad específica efectiva del agregado

### Porcentaje de Asfalto Absorbido “% Asf. Abs.”

El porcentaje de asfalto absorbido del agregado mineral usualmente se expresa por peso del agregado mas que por peso de la mezcla total. La ecuación para calcular el asfalto absorbido puede obtenerse a partir de:

$$\% \text{Asf. Abs.} = \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} * G_{sb}} * G_b * 100$$

Dónde:

- % Asf. Abs. Porcentaje de asfalto absorbido por peso del agregado  
 G<sub>b</sub> gravedad específica del cemento asfáltico  
 G<sub>se</sub> gravedad específica efectiva del agregado  
 G<sub>sb</sub> gravedad específica bulk del agregado

### Porcentaje de Asfalto Efectivo en la mezcla “Asf. Util %”

El contenido de asfalto efectivo, de la mezcla es el contenido total de asfalto menos la cantidad de asfalto que absorbió el agregado. Esta es la capa de asfalto que recubre exteriormente el agregado y es el contenido de asfalto que gobierna el comportamiento de la mezcla asfáltica.

$$\% \text{Asf. Util.} = P_b - \% \text{Asf. Abs.}$$



Dónde:

%Asf.Util	contenido de asfalto efectivo, porcentaje por peso total de la mezcla
Pb	contenido de asfalto, porcentaje del peso total de la mezcla
% Asf. Abs.	Porcentaje de asfalto absorbido por peso del agregado.

### Porcentaje vacíos en el agregado mineral en Mezcla Compactada “VAM”

La fórmula para VAM puede obtenerse con:

$$VAM = 100\left(1 - \frac{G_{mb}(1 - P_b)}{G_{sb}}\right)$$

Dónde:

VAM	vacíos en el agregado mineral
Gsb	gravedad específica bulk del agregado
Gmb	gravedad específica bulk de la mezcla compactada
Pb	contenido de asfalto, porcentaje del peso total de la mezcla

### Porcentaje de Vacíos de Aire en la Mezcla Compactada “Va”

La fórmula para calcular el porcentaje de vacíos de aire puede obtenerse a partir de:

$$Va = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) * 100$$

Dónde:

Va	vacío de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total
Gmb	Gravedad específica bulk del espécimen compactado
Gmm	Gravedad específica teórica máxima de la mezcla

### Vacíos Llenos con Asfalto “VFA”

La siguiente fórmula se usa para calcular el VFA:

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

Dónde:

VFA	vacíos llenos con asfalto, porcentaje
Va	vacío de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total
VAM	vacíos en el agregado mineral





**PROYECTO:** ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)  
**Procedencia :** Colombia - ECOPETROL **Laboratorista:** Coyo Quispe Elio  
**Tipo de muestra** Asfalto Convencional Ecopetrol 60/70 Colombiano **Fecha:** Diciembre 2018

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE - MÉTODO MARSHALL

Gsb ag: 2.591

Gsea = 2.773

% Asf. Abs.: 2.559

G C.A. : 1.010

Comp. De la mezcla	Dosificación		Peso Espec. Gs	Vol. Vd [cc]	PE max.		No Briq.	Altura h [cm]	Factor Correc. de Briq.	Pesos de la Probeta (g)			Vol. Muest. [cc]	PE Gsb Prob.	Asf. Util [%]	Lect. Dial 0,0001"	Estabilidad			Lect. Dial 0,01"	Flujo real [cm]	Est/flujo [kg/cm]
	Agreg. %	Mezcla %			Teor. Gst	Mez. Gsm				Seco al aire	Peso sss	Sumerg. s/canast.					Real		Correg. [kg]			
																	[lbr]	[kg]				
Grava	21.00%	<b>20.06%</b>	2.660	8.285	2.421	2.579	1	5.60	1.235	1080.2	1081.9	633.3	<b>446.90</b>	2.413	1.9	265	2650.00	1202.04	1484.52	9	0.23	6493.961
Gravilla	46.00%	<b>43.93%</b>	2.635	18.149			2	5.64	1.220	1090.2	1090.8	639.4	<b>450.80</b>	2.415		315	3150.00	1428.84	1743.18	8	0.20	8578.665
Fino	28.00%	<b>26.74%</b>	2.480	11.047			3	5.75	1.181	1129.5	1131.1	666.8	<b>462.70</b>	2.437		272	2720.00	1233.79	1457.11	11	0.28	5215.134
Arena	5.00%	<b>4.78%</b>	2.562	1.973																		
C.A.		<b>4.50</b>	1.010	1.859																		
Grava	21.00%	<b>19.95%</b>	2.660	8.302	2.403	2.560	1	5.74	1.184	1100.2	1101.0	640.0	<b>460.20</b>	2.387	2.4	345	3450.00	1564.92	1852.87	14	0.36	5210.532
Gravilla	46.00%	<b>43.70%</b>	2.635	18.186			2	5.63	1.224	1084.1	1085.0	635.5	<b>448.60</b>	2.413		290	2900.00	1315.44	1610.10	9	0.23	7043.301
Fino	28.00%	<b>26.60%</b>	2.480	11.070			3	5.59	1.239	1087.2	1087.8	640.8	<b>446.40</b>	2.432		259	2590.00	1174.82	1455.61	10	0.25	5730.736
Arena	5.00%	<b>4.75%</b>	2.562	1.977																		
C.A.		<b>5.00</b>	1.010	2.081																		
Grava	21.00%	<b>19.85%</b>	2.660	8.318	2.386	2.542	1	5.56	1.250	1083.4	1084	640.4	<b>443.00</b>	2.442	2.9	255	2550.00	1156.68	1445.85	13	0.33	4378.71
Gravilla	46.00%	<b>43.47%</b>	2.635	18.221			2	5.39	1.324	1047.7	1048	617.4	<b>430.30</b>	2.431		240	2400.00	1088.64	1441.36	12	0.30	4728.869
Fino	28.00%	<b>26.46%</b>	2.480	11.091			3	5.87	1.143	1148.8	1149	676.6	<b>472.20</b>	2.429		259	2590.00	1174.82	1342.82	12	0.30	4405.59
Arena	5.00%	<b>4.73%</b>	2.562	1.981																		
C.A.		<b>5.50</b>	1.010	2.305																		
Grava	21.00%	<b>19.74%</b>	2.660	8.334	2.369	2.524	1	5.63	1.224	1089.0	1089.4	640.0	<b>449.00</b>	2.422	3.4	252	2520.00	1143.07	1399.12	14	0.36	3934.534
Gravilla	46.00%	<b>43.24%</b>	2.635	18.255			2	5.50	1.276	1071.0	1071.3	630.4	<b>440.60</b>	2.427		228	2280.00	1034.21	1319.65	13	0.33	3996.515
Fino	28.00%	<b>26.32%</b>	2.480	11.112			3	5.81	1.162	1136.7	1137.0	669.3	<b>467.40</b>	2.428		311	3110.00	1410.70	1639.23	12	0.30	5378.047
Arena	5.00%	<b>4.70%</b>	2.562	1.984																		
C.A.		<b>6.00</b>	1.010	2.533																		
Grava	21.00%	<b>19.64%</b>	2.660	8.349	2.352	2.506	1	5.66	1.213	1087.5	1087.8	637.4	<b>450.10</b>	2.412	3.9	170	1700.00	771.12	935.37	15	0.38	2455.036
Gravilla	46.00%	<b>43.01%</b>	2.635	18.288			2	5.60	1.235	1076.8	1076.9	630.0	<b>446.80</b>	2.406		188	1880.00	852.77	1053.17	18	0.46	2303.518
Fino	28.00%	<b>26.18%</b>	2.480	11.132			3	5.99	1.106	1145.3	1145.4	670.3	<b>475.00</b>	2.408		233	2330.00	1056.89	1168.92	21	0.53	2191.448
Arena	5.00%	<b>4.68%</b>	2.562	1.988																		
C.A.		<b>6.50</b>	1.010	2.764																		
Grava	21.00%	<b>19.53%</b>	2.660	8.363	2.335	2.489	1	5.66	1.213	1069.4	1069.4	624.1	<b>445.30</b>	2.398	4.4	156	1560.00	707.62	858.34	21	0.53	1609.183
Gravilla	46.00%	<b>42.78%</b>	2.635	18.320			2	5.96	1.115	1141.7	1141.7	667.9	<b>473.80</b>	2.406		215	2150.00	975.24	1087.39	18	0.46	2378.374
Fino	28.00%	<b>26.04%</b>	2.480	11.151			3	5.65	1.216	1068.5	1068.7	623.1	<b>445.40</b>	2.395		195	1950.00	884.52	1075.58	23	0.58	1841.11
Arena	5.00%	<b>4.65%</b>	2.562	1.991																		
C.A.		<b>7.00</b>	1.010	2.998																		

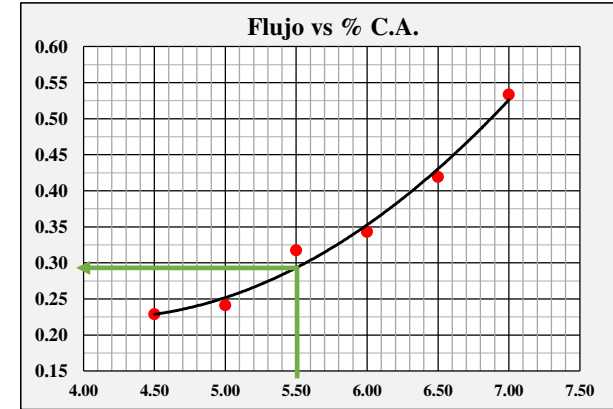
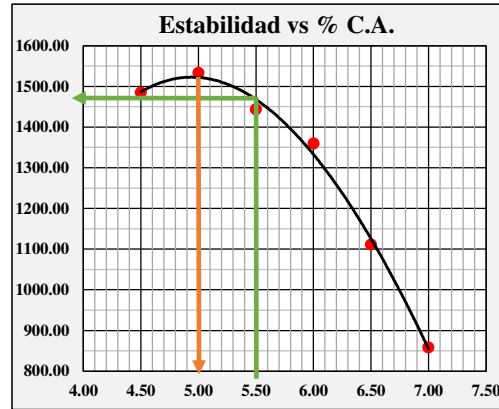
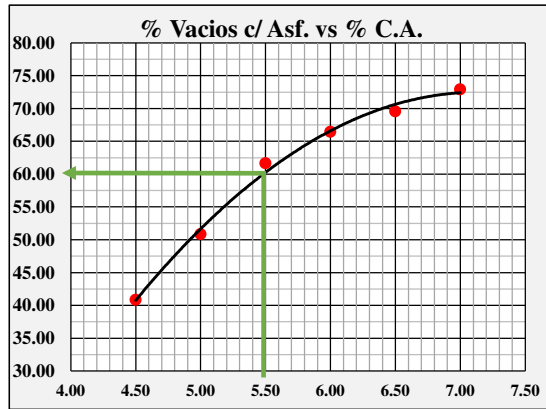
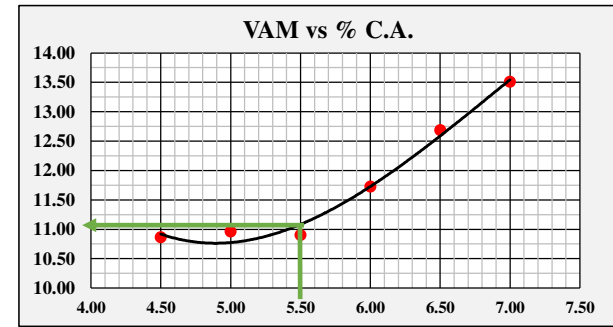
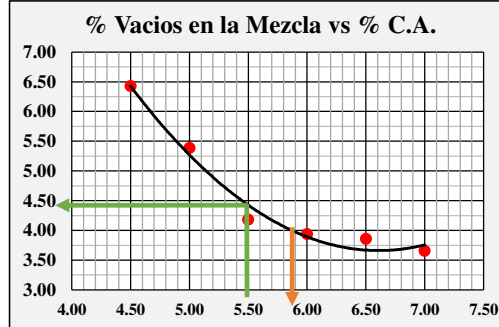
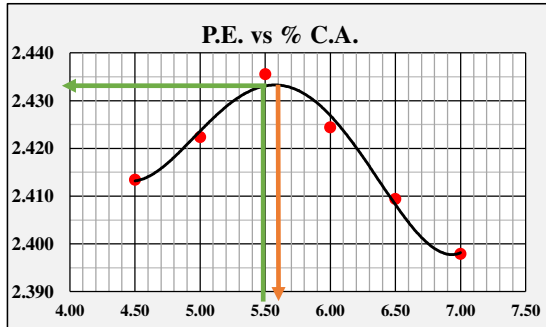
DATOS PARA LAS GRAFICAS DE MARSHALL

% C.A.	PE Gsb Prom.	% de Vacios			Est. Prom. [kg]	Flujo Prom. [cm]
		Mez. [%]	Agreg. [%]	c/Asf. [%]		
<b>4.50</b>	2.413	6.427	10.864	40.843	1484.52	0.23
<b>5.00</b>	2.422	5.385	10.959	50.862	1532.85	0.24
<b>5.50</b>	2.436	4.180	10.900	61.656	1443.60	0.32
<b>6.00</b>	2.424	3.935	11.726	66.437	1359.38	0.34
<b>6.50</b>	2.409	3.858	12.683	69.585	1111.04	0.42
<b>7.00</b>	2.398	3.656	13.507	72.935	858.34	0.53



**PROYECTO:** ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)  
**Procedencia :** Colombia - ECOPEPETROL **Laboratorista:** Covo Ouispe Elio  
**Tipo de muestra** Asfalto Convencional Ecopetrol 60/70 Colombiano **Fecha:** Diciembre 2018

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE - MÉTODO MARSHALL



ASFALTO CONVENCIONAL						
CRITERIOS DE DISEÑO (TRAFICO PESADO - 75 golpes ambas cara)						
	Peso Específico=	2.400	gr/cc	Especificaciones		Verificación
				Min	Max.	
	Estabilidad=	1467.5	[kg]	1800 Lb	-	CUMPLE
	% Vacios en la mezcla=	4.43	%	3	5	CUMPLE
	% Vacios en el agreg.=	11.08	%	12	-	NO CUMPLE
	% Vacios con Asfalto=	60.27	%	65	75	NO CUMPLE
	Flujo=	0.29	cm =	8	16	CUMPLE
Contenido Óptimo de cemento asfáltico [%]				5.5		

ASFALTO CONVENCIONAL						
CRITERIOS DE DISEÑO (TRAFICO PESADO - 75 golpes ambas cara)						
	Peso Específico=	2.386	gr/cc	Especificaciones		Verificación
				Min	Max.	
	Estabilidad=	1365.4	[kg]	1800 Lb	-	CUMPLE
	% Vacios en la mezcla=	3.97	%	3	5	CUMPLE
	% Vacios en el agreg.=	11.58	%	12	-	NO CUMPLE
	% Vacios con Asfalto=	65.51	%	65	75	CUMPLE
	Flujo=	0.34	cm =	8	16	CUMPLE
Contenido Óptimo de cemento asfáltico [%]				5.9		



**PROYECTO:** ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)

**Procedencia :**

**Laboratorista:**

Coyo Quispe Elio

**Tipo de muestra :** Asfalto Modificado con 1.5% Bumper

**Fecha:**

Diciembre 2018

**DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE - METODO MARSHALL**

Gsb ag: 2.591

Gsea = 2.745

% Asf. Abs.: 2.181

G C.A. : 1.010

Comp. De la mezcla	Dosificación		Peso Espec. Gs	Vol. Vd [cc]	PE max.		No Briq.	Altura h [cm]	Factor Correc. de Briq.	Pesos de la Probeta (g)			Vol. Muest. [cc]	PE Gsb Prob.	Asf. Util [%]	Lect. Dial 0,0001"	Estabilidad			Lect. Dial 0,01"	Flujo real [cm]	Est/flujo [kg/cm]		
	Agreg. %	Mezcla %			Teor. Gst	Mezc. Gsm				Seco al aire	Peso sss	Sumerg. s/canast.					Real		Correg. [kg]					
																	[lbr]	[kg]						
Grava	21.00%	<b>20.06%</b>	2.660	8.285	2.421	2.556	1	5.76	1.178	1090.20	1094.80	639.30	<b>450.90</b>	2.416	2.3	273	2730.00	1238.33	1458.75	9	0.23	6381.24		
Gravilla	46.00%	<b>43.93%</b>	2.635	18.149				2	5.88	1.140	1084.10	1089.50	628.55	<b>455.55</b>		2.378	233	2330.00	1056.89	1204.85	9	0.23	5270.57	
Fino	28.00%	<b>26.74%</b>	2.480	11.047				3	5.84	1.153	1087.00	1091.50	631.10	<b>455.90</b>		2.382	248	2480.00	1124.93	1297.04	10	0.25	5106.46	
Arena	5.00%	<b>4.78%</b>	2.562	1.973																				
C.A.		<b>4.50</b>	1.010	1.859																				
Grava	21.00%	<b>19.95%</b>	2.660	8.302	2.403	2.537	1	5.72	1.190	1083.10	1084.70	633.40	<b>449.70</b>	2.407	2.8	238	2380.00	1079.57	1284.69	12	0.30	4214.85		
Gravilla	46.00%	<b>43.70%</b>	2.635	18.186				2	5.74	1.184	1093.70	1094.50	638.60	<b>455.10</b>		2.401	250	2500.00	1134.00	1342.66	10	0.25	5286.05	
Fino	28.00%	<b>26.60%</b>	2.480	11.070				3	5.60	1.235	1071.20	1072.90	628.00	<b>443.20</b>		2.415	239	2390.00	1084.10	1338.87	10	0.25	5271.14	
Arena	5.00%	<b>4.75%</b>	2.562	1.977																				
C.A.		<b>5.00</b>	1.010	2.081																				
Grava	21.00%	<b>19.85%</b>	2.660	8.318	2.386	2.519	1	5.64	1.220	1090.90	1091.10	640.30	<b>450.60</b>	2.419	3.3	240	2400.00	1088.64	1328.14	11	0.28	4753.55		
Gravilla	46.00%	<b>43.47%</b>	2.635	18.221				2	5.71	1.194	1098.00	1098.30	642.60	<b>455.40</b>		2.409	240	2400.00	1088.64	1299.84	11	0.28	4652.24	
Fino	28.00%	<b>26.46%</b>	2.480	11.091				3	5.67	1.209	1087.90	1088.20	636.95	<b>450.95</b>		2.411	230	2300.00	1043.28	1261.33	14	0.36	3547.03	
Arena	5.00%	<b>4.73%</b>	2.562	1.981																				
C.A.		<b>5.50</b>	1.010	2.305																				
Grava	21.00%	<b>19.74%</b>	2.660	8.334	2.369	2.501	1	5.67	1.209	1087.20	1088.00	637.20	<b>450.00</b>	2.414	3.8	212	2120.00	961.63	1162.61	15	0.38	3051.48		
Gravilla	46.00%	<b>43.24%</b>	2.635	18.255				2	5.63	1.224	1091.30	1091.50	637.65	<b>453.65</b>		2.404	210	2100.00	952.56	1165.93	14	0.36	3278.78	
Fino	28.00%	<b>26.32%</b>	2.480	11.112				3	5.76	1.178	1087.20	1087.40	637.50	<b>449.70</b>		2.416	225	2250.00	1020.60	1202.27	14	0.36	3380.95	
Arena	5.00%	<b>4.70%</b>	2.562	1.984																				
C.A.		<b>6.00</b>	1.010	2.533																				
Grava	21.00%	<b>19.64%</b>	2.660	8.349	2.352	2.484	1	5.69	1.201	1085.40	1085.70	632.90	<b>452.50</b>	2.397	4.3	203	2030.00	920.81	1105.89	16	0.41	2721.19		
Gravilla	46.00%	<b>43.01%</b>	2.635	18.288				2	5.60	1.235	1079.40	1079.40	631.65	<b>447.75</b>		2.409	215	2150.00	975.24	1204.42	14	0.36	3387.01	
Fino	28.00%	<b>26.18%</b>	2.480	11.132				3	5.65	1.216	1086.60	1086.80	635.90	<b>450.70</b>		2.409	205	2050.00	929.88	1130.73	17	0.43	2618.65	
Arena	5.00%	<b>4.68%</b>	2.562	1.988																				
C.A.		<b>6.50</b>	1.010	2.764																				
Grava	21.00%	<b>19.53%</b>	2.660	8.363	2.335	2.467	1	5.91	1.131	1087.60	1087.60	632.85	<b>454.75</b>	2.390	4.8	230	2300.00	1043.28	1179.95	25	0.64	1858.19		
Gravilla	46.00%	<b>42.78%</b>	2.635	18.320				2	5.64	1.220	1074.50	1074.50	625.60	<b>448.90</b>		2.392	188	1880.00	852.77	1040.38	20	0.51	2047.99	
Fino	28.00%	<b>26.04%</b>	2.480	11.151				3	5.73	1.187	1081.50	1081.60	628.50	<b>453.00</b>		2.385	187	1870.00	848.23	1006.85	21	0.53	1887.61	
Arena	5.00%	<b>4.65%</b>	2.562	1.991																				
C.A.		<b>7.00</b>	1.010	2.998																				

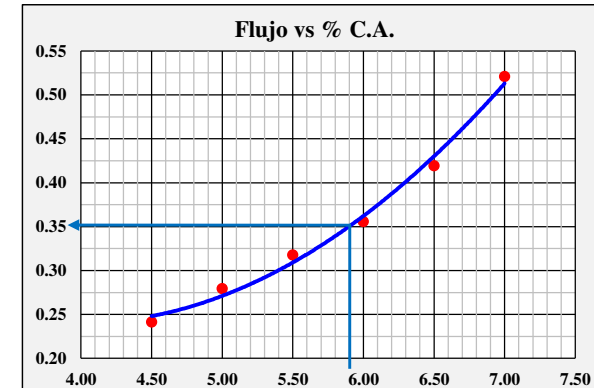
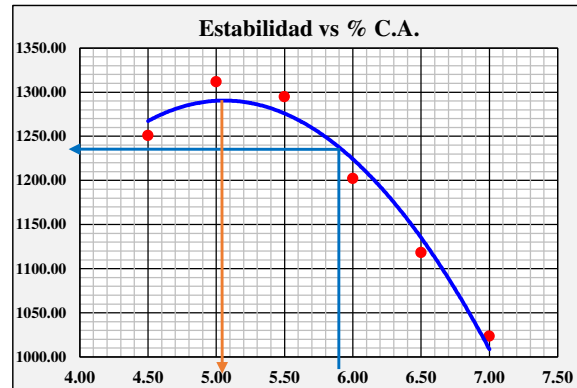
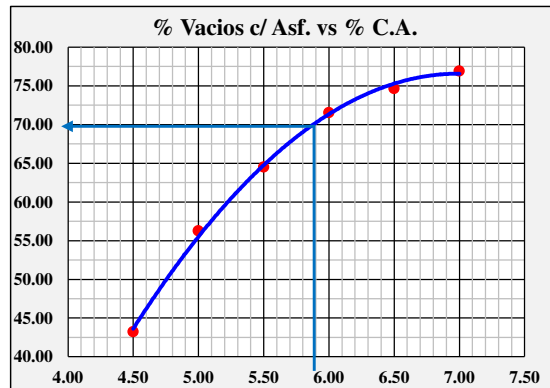
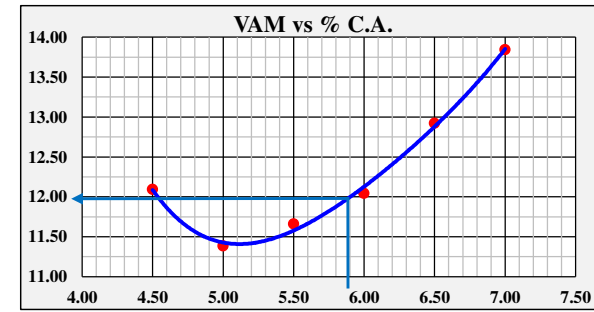
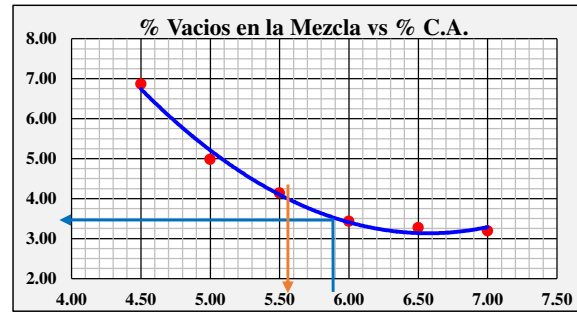
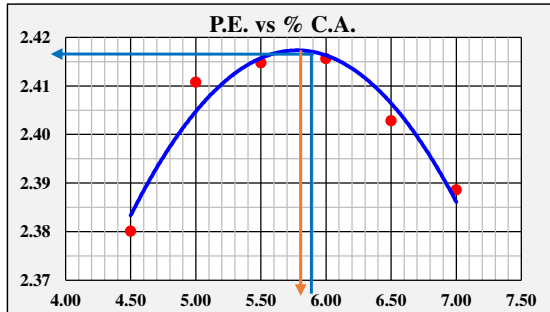
**DATOS PARA LAS GRAFICAS DE MARSHALL**

% C.A.	PE Gsb Prom.	% de Vacios			Est. Prom. [kg]	Flujo Prom. [cm]
		Mez. [%]	Agreg. [%]	c/Asf. [%]		
<b>4.50</b>	2.380	6.866	12.095	43.231	1250.95	0.24
<b>5.00</b>	2.411	4.979	11.386	56.274	1311.78	0.28
<b>5.50</b>	2.415	4.140	11.660	64.498	1294.73	0.32
<b>6.00</b>	2.416	3.429	12.045	71.531	1202.27	0.36
<b>6.50</b>	2.403	3.275	12.922	74.653	1118.31	0.42
<b>7.00</b>	2.389	3.194	13.843	76.929	1023.61	0.52



**PROYECTO:** ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)  
**Procedencia :** **Laboratorista:** Coyo Quispe Elio  
**Tipo de muestra :** Asfalto Modificado con 1.5% Bumper **Fecha:** Enero 2019

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE - METODO MARSHALL



ASFALTO MODIFICADO CON 1.5% BUMPER						
CRITERIOS DE DISEÑO (TRAFICO PESADO - 75 golpes ambas cara)						
	Peso Especifico=	2.419	gr/cc	Especificaciones		Verificacion
				Min	Max.	
	Estabilidad=	1237.5	[kg]	1800	[lb]	CUMPLE
	% Vacios en la mezcla=	3.51	%	3	5	CUMPLE
	% Vacios en el agreg.=	11.96	%	12	-	NO CUMPLE
	% Vacios con Asfalto=	70.25	%	65	75	CUMPLE
	Flujo=	0.35	[cm]	8	16	CUMPLE
Flujo= 13.740				0.01"		
Contenido Óptimo de cemento asfáltico [%]				5.9		

CRITERIOS PARA ZONAS DE ALTURA						
CRITERIOS DE DISEÑO (TRAFICO PESADO - 75 golpes ambas cara)						
	Peso Especifico=	2.419	gr/cc	Especificaciones		Verificacion
				Min	Max.	
	Estabilidad=	1237.5	[kg]	750	1500	kg
	% Vacios en la mezcla=	3.51	%	1	3	NO CUMPLE
	% Vacios en el agreg.=	11.96	%	14	-	NO CUMPLE
	% Vacios con Asfalto=	70.25	%	-	-	CUMPLE
	Flujo=	0.35	[cm]	3	7	CUMPLE
	Flujo=	3.49	mm			
	Estabilidad/flujo	3546	[Kg/cm]		2500	NO CUMPLE
Contenido de cemento asfáltico %				5.9		6
						-
						NO CUMPLE



**PROYECTO:** ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)

**Procedencia :**

**Laboratorista:**

Coyo Quispe Elio

**Tipo de muestra :** Asfalto Modificado con 2.0% Bumper

**Fecha:**

Diciembre 2018

**DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE - METODO MARSHALL**

Gsb ag: 2.591

Gsea = 2.729

% Asf. Abs.: 1.972

G C.A. : 1.010

Comp. De la mezcla	Dosificación		Peso Espec. Gs	Vol. Vd [cc]	PE max.		No Briq.	Altura h [cm]	Factor Correc. de Briq.	Pesos de la Probeta (g)			Vol. Muest. [cc]	PE Gsb Prob.	Asf. Util [%]	Lect. Dial 0,0001"	Estabilidad			Lect. Dial 0,01"	Flujo real [cm]	Est/flujo [kg/cm]	
	Agreg. %	Mezcla %			Teor. Gst	Mez. Gsm				Seco al aire	Peso sss	Sumerg. s/canast.					Real		Correg. [kg]				
																	[lbr]	[kg]					
Grava	21.00%	<b>20.06%</b>	2.660	8.285	2.421	2.543	1	5.76	1.178	1085.60	1089.80	631.50	<b>454.10</b>	2.389	2.5	275	2750.00	1247.40	1469.44	10	0.25	5785.19	
Gravilla	46.00%	<b>43.93%</b>	2.635	18.149			2	5.75	1.181	1093.20	1095.90	637.00	<b>456.20</b>	2.394		227	2270.00	1029.67	1216.04	9	0.23	5319.52	
Fino	28.00%	<b>26.74%</b>	2.480	11.047			3	5.88	1.140	1106.10	1107.90	643.10	<b>463.00</b>	2.387		276	2760.00	1251.94	1427.21	12	0.30	4682.44	
Arena	5.00%	<b>4.78%</b>	2.562	1.973																			
C.A.		<b>4.50</b>	1.010	1.859																			
Grava	21.00%	<b>19.95%</b>	2.660	8.302	2.403	2.524	1	5.66	1.213	1087.30	1087.90	638.60	<b>448.70</b>	2.421	3.0	301	3010.00	1365.34	1656.15	11	0.28	5927.53	
Gravilla	46.00%	<b>43.70%</b>	2.635	18.186			2	5.78	1.171	1092.30	1093.50	635.20	<b>457.10</b>	2.388		270	2700.00	1224.72	1434.15	12	0.30	4705.21	
Fino	28.00%	<b>26.60%</b>	2.480	11.070			3	5.74	1.184	1093.70	1094.50	639.20	<b>454.50</b>	2.404		309	3090.00	1401.62	1659.52	11	0.28	5939.59	
Arena	5.00%	<b>4.75%</b>	2.562	1.977																			
C.A.		<b>5.00</b>	1.010	2.081																			
Grava	21.00%	<b>19.85%</b>	2.660	8.318	2.386	2.507	1	5.66	1.213	1088.50	1088.80	639.00	<b>449.50</b>	2.420	3.5	265	2650.00	1202.04	1458.07	12	0.30	4783.71	
Gravilla	46.00%	<b>43.47%</b>	2.635	18.221			2	5.75	1.181	1092.40	1092.70	637.00	<b>455.40</b>	2.397		258	2580.00	1170.29	1382.11	14	0.36	3886.7	
Fino	28.00%	<b>26.46%</b>	2.480	11.091			3	5.74	1.184	1091.30	1091.60	639.70	<b>451.60</b>	2.415		286	2860.00	1297.30	1536.00	13	0.33	4651.72	
Arena	5.00%	<b>4.73%</b>	2.562	1.981																			
C.A.		<b>5.50</b>	1.010	2.305																			
Grava	21.00%	<b>19.74%</b>	2.660	8.334	2.369	2.489	1	5.75	1.181	1088.10	1088.50	634.10	<b>454.00</b>	2.395	4.0	255	2550.00	1156.68	1366.04	16	0.41	3361.32	
Gravilla	46.00%	<b>43.24%</b>	2.635	18.255			2	5.71	1.194	1088.40	1088.70	637.60	<b>450.80</b>	2.412		250	2500.00	1134.00	1354.00	14	0.36	3807.64	
Fino	28.00%	<b>26.32%</b>	2.480	11.112			3	5.73	1.187	1081.70	1082.20	631.30	<b>450.40</b>	2.400		212	2120.00	961.63	1141.46	14	0.36	3209.95	
Arena	5.00%	<b>4.70%</b>	2.562	1.984																			
C.A.		<b>6.00</b>	1.010	2.533																			
Grava	21.00%	<b>19.64%</b>	2.660	8.349	2.352	2.472	1	5.70	1.198	1079.90	1080.20	626.10	<b>453.80</b>	2.378	4.5	186	1860.00	843.70	1010.75	15	0.38	2652.88	
Gravilla	46.00%	<b>43.01%</b>	2.635	18.288			2	5.74	1.184	1065.20	1066.40	614.70	<b>450.50</b>	2.363		165	1650.00	748.44	886.15	16	0.41	2180.49	
Fino	28.00%	<b>26.18%</b>	2.480	11.132			3	5.77	1.174	1084.80	1085.00	629.70	<b>455.10</b>	2.382		200	2000.00	907.20	1065.05	17	0.43	2466.54	
Arena	5.00%	<b>4.68%</b>	2.562	1.988																			
C.A.		<b>6.50</b>	1.010	2.764																			
Grava	21.00%	<b>19.53%</b>	2.660	8.363	2.335	2.456	1	5.60	1.235	1061.90	1062.40	616.60	<b>445.30</b>	2.383	5.0	189	1890.00	857.30	1058.77	17	0.43	2451.99	
Gravilla	46.00%	<b>42.78%</b>	2.635	18.320			2	5.77	1.174	1071.00	1071.20	620.10	<b>450.90</b>	2.373		160	1600.00	725.76	852.04	22	0.56	1524.77	
Fino	28.00%	<b>26.04%</b>	2.480	11.151			3	6.00	1.103	1093.00	1093.10	632.60	<b>460.40</b>	2.372		211	2110.00	957.10	1055.68	21	0.53	1979.15	
Arena	5.00%	<b>4.65%</b>	2.562	1.991																			
C.A.		<b>7.00</b>	1.010	2.998																			

**DATOS PARA LAS GRAFICAS DE MARSHALL**

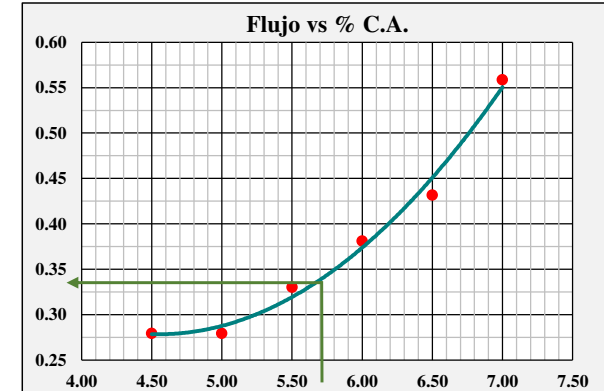
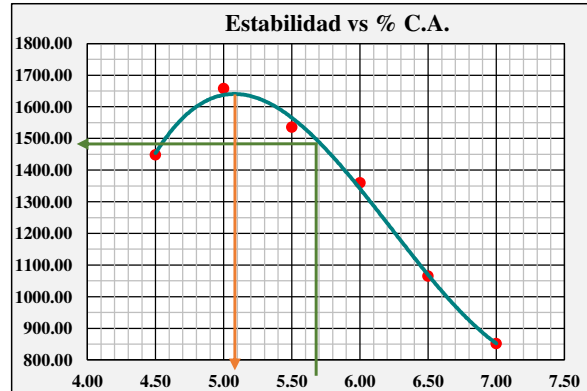
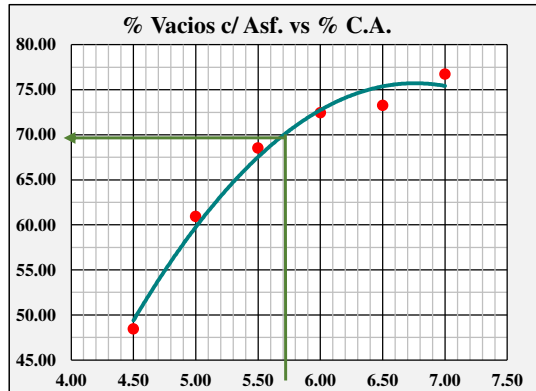
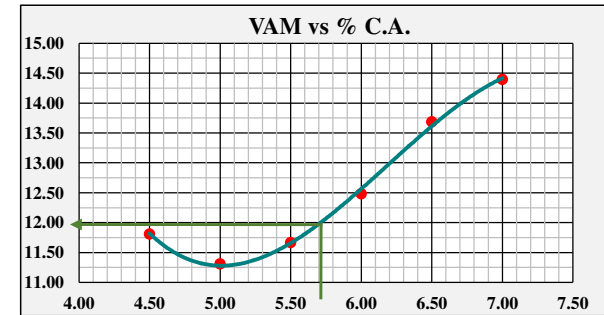
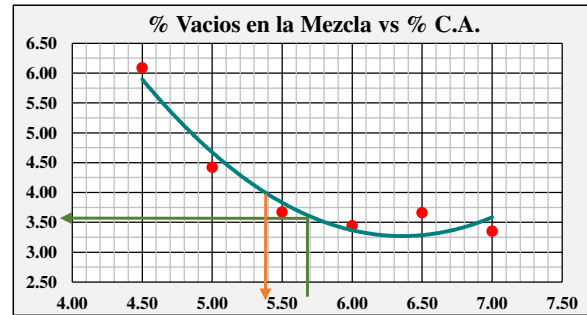
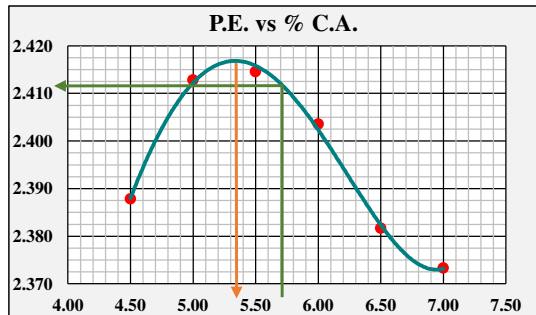
% C.A.	PE Gsb Prom.	% de Vacios			Est. Prom. [kg]	Flujo Prom. [cm]
		Mez. [%]	Agreg. [%]	c/Asf. [%]		
4.50	2.388	6.089	11.808	48.436	1448.32	0.28
5.00	2.413	4.422	11.310	60.907	1657.84	0.28
5.50	2.415	3.674	11.668	68.511	1536.00	0.33
6.00	2.404	3.442	12.484	72.429	1360.02	0.38
6.50	2.382	3.663	13.687	73.241	1065.05	0.43
7.00	2.373	3.353	14.394	76.705	852.04	0.56





**PROYECTO:** ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)  
**Procedencia :** Asfalto Modificado con 2.0% Bumper  
**Laboratorista:** Coyo Quispe Elio  
**Fecha:** Enero 2019

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE - METODO MARSHALL



ASFALTO MODIFICADO CON 2.0% BUMPER					
CRITERIOS DE DISEÑO (TRAFICO PESADO - 75 golpes ambas cara)					
Peso Especifico=	2.406	gr/cc	Especificaciones		Verificacion
			Min	Max.	
Estabilidad=	1487.3	[kg]	1800	---	CUMPLE
% Vacios en la mezcla=	3.60	%	3	5	CUMPLE
% Vacios en el agreg.=	12.00	%	12	---	CUMPLE
% Vacios con Asfalto=	69.94	%	65	75	CUMPLE
Flujo=	0.34	[cm]	8	16	CUMPLE
Contenido Óptimo de cemento asfáltico [%]			5.7		

CRITERIOS PARA ALTURA					
CRITERIOS DE DISEÑO (TRAFICO PESADO - 75 golpes ambas cara)					
Peso Especifico=	2.406	gr/cc	Especificaciones		Verificacion
			Min	Max.	
Estabilidad=	1487.3	[kg]	750 kg	1500 kg	CUMPLE
% Vacios en la mezcla=	3.60	%	1	3	NO CUMPLE
% Vacios en el agreg.=	12.00	%	14	-	NO CUMPLE
% Vacios con Asfalto=	69.94	%	-	-	CUMPLE
Flujo=	0.34	[cm]	3	7	CUMPLE
Estabilidad/flujo	4374	Kg/cm	3	2500	NO CUMPLE
Contenido de cemento asfáltico %			5.7		



**PROYECTO:** ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)

**Procedencia :**

**Laboratorista:**

Coyo Quispe Elio

**Tipo de muestra :** Asfalto Modificado con 3.0% Bumper

**Fecha:**

Diciembre 2018

**DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE - METODO MARSHALL**

Gsb ag: 2.591

Gsea = 2.637

% Asf. Abs.: 0.678

G C.A. : 1.010

Comp. De la mezcla	Dosificación		Peso Espec. Gs	Vol. Vd [cc]	PE max.		No Briq.	Altura h [cm]	Factor Correc. de Briq.	Pesos de la Probeta (g)			Vol. Muest. [cc]	PE Gsb Prob.	Asf. Util [%]	Lect. Dial 0,0001"	Estabilidad			Lect. Dial 0,01"	Flujo real [cm]	Est/flujo [kg/cm]		
	Agreg. %	Mezcla %			Teor. Gst	Mez. Gsm				Seco al aire	Peso sss	Sumerg. s/canast.					Real		Correg. [kg]					
																	[lbr]	[kg]						
Grava	21.00%	20.06%	2.660	8.285	2.421	2.466	1	5.89	1.137	1087.50	1093.60	630.00	457.50	2.374	3.8	253	2530.00	1147.61	1304.83	15	0.38	3424.75		
Gravilla	46.00%	43.93%	2.635	18.149			2	5.92	1.128	1095.20	1102.00	637.90	457.30	2.392		284	2840.00	1288.22	1453.12	9	0.23	6356.59		
Fino	28.00%	26.74%	2.480	11.047			3	5.85	1.149	1097.10	1100.30	638.20	458.90	2.388		294	2940.00	1333.58	1532.29	12	0.30	5027.19		
Arena	5.00%	4.78%	2.562	1.973																				
C.A.		4.50	1.010	1.859																				
Grava	21.00%	19.95%	2.660	8.302	2.403	2.449	1	5.75	1.181	1093.70	1095.70	639.20	454.50	2.404	4.3	300	3000.00	1360.80	1607.10	15	0.38	4218.12		
Gravilla	46.00%	43.70%	2.635	18.186			2	5.77	1.174	1097.70	1099.00	639.10	458.60	2.391		294	2940.00	1333.58	1565.63	11	0.28	5603.53		
Fino	28.00%	26.60%	2.480	11.070			3	5.83	1.156	1095.00	1098.00	634.20	460.80	2.374		257	2570.00	1165.75	1347.61	9	0.23	5895.05		
Arena	5.00%	4.75%	2.562	1.977																				
C.A.		5.00	1.010	2.081																				
Grava	21.00%	19.85%	2.660	8.318	2.386	2.433	1	5.78	1.171	1091.10	1092.70	632.70	458.40	2.378	4.8	291	2910.00	1319.98	1545.69	7	0.18	8693.43		
Gravilla	46.00%	43.47%	2.635	18.221			2	5.72	1.190	1079.20	1079.70	628.60	450.60	2.392		273	2730.00	1238.33	1473.61	12	0.30	4834.68		
Fino	28.00%	26.46%	2.480	11.091			3	5.75	1.181	1081.20	1081.80	627.20	454.00	2.379		210	2100.00	952.56	1124.97	11	0.28	4026.39		
Arena	5.00%	4.73%	2.562	1.981																				
C.A.		5.50	1.010	2.305																				
Grava	21.00%	19.74%	2.660	8.334	2.369	2.417	1	5.77	1.174	1081.50	1081.90	628.60	452.90	2.385	5.3	241	2410.00	1093.18	1283.39	13	0.33	3886.7		
Gravilla	46.00%	43.24%	2.635	18.255			2	5.82	1.159	1097.70	1098.10	637.90	459.80	2.385		281	2810.00	1274.62	1477.28	14	0.36	4154.33		
Fino	28.00%	26.32%	2.480	11.112			3	5.71	1.194	1093.10	1093.50	639.40	453.70	2.407		268	2680.00	1215.65	1451.48	16	0.41	3571.56		
Arena	5.00%	4.70%	2.562	1.984																				
C.A.		6.00	1.010	2.533																				
Grava	21.00%	19.64%	2.660	8.349	2.352	2.401	1	5.67	1.209	1082.60	1082.80	628.90	453.70	2.383	5.8	301	3010.00	1365.34	1650.69	15	0.38	4332.52		
Gravilla	46.00%	43.01%	2.635	18.288			2	5.59	1.239	1074.50	1075.00	625.20	449.30	2.389		233	2330.00	1056.89	1309.48	18	0.46	2864.14		
Fino	28.00%	26.18%	2.480	11.132			3	5.69	1.201	1071.70	1072.10	624.20	447.50	2.392		230	2300.00	1043.28	1252.98	17	0.43	2901.76		
Arena	5.00%	4.68%	2.562	1.988																				
C.A.		6.50	1.010	2.764																				
Grava	21.00%	19.53%	2.660	8.363	2.335	2.386	1	5.54	1.259	1046.30	1046.40	608.10	438.20	2.385	6.3	178	1780.00	807.41	1016.53	18	0.46	2223.37		
Gravilla	46.00%	42.78%	2.635	18.320			2	5.83	1.156	1096.30	1096.60	635.50	460.80	2.376		200	2000.00	907.20	1048.72	23	0.58	1795.14		
Fino	28.00%	26.04%	2.480	11.151			3	5.73	1.187	1077.10	1077.30	623.40	453.70	2.371		224	2240.00	1016.06	1206.07	24	0.61	1978.46		
Arena	5.00%	4.65%	2.562	1.991																				
C.A.		7.00	1.010	2.998																				

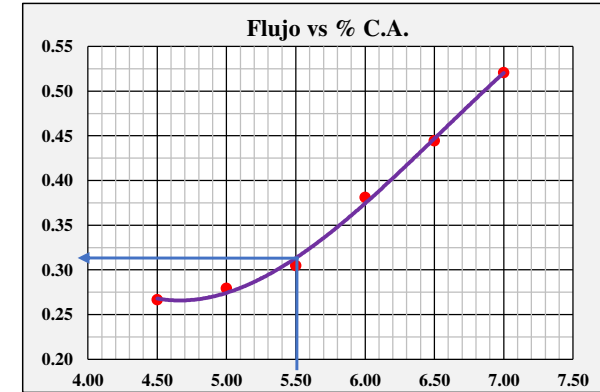
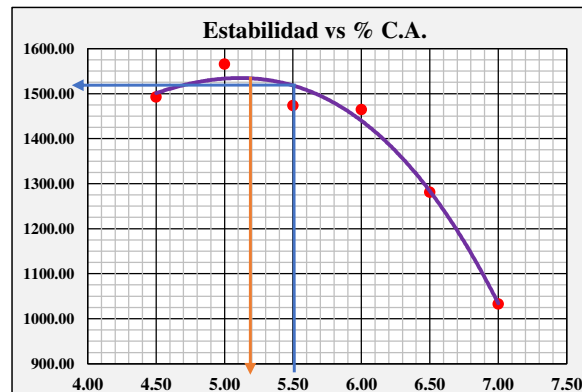
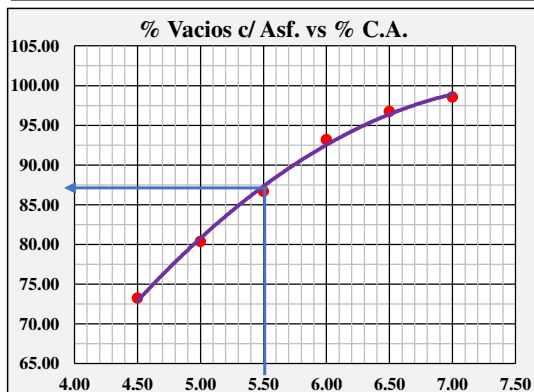
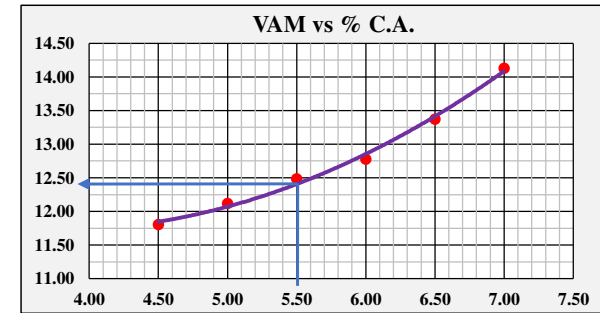
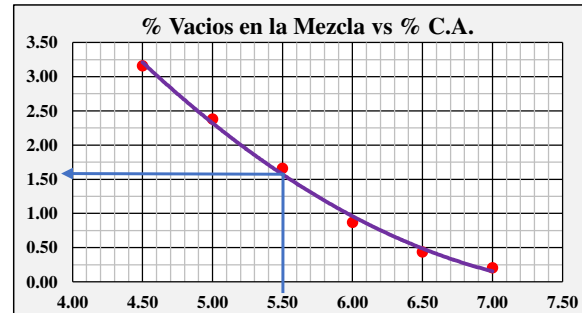
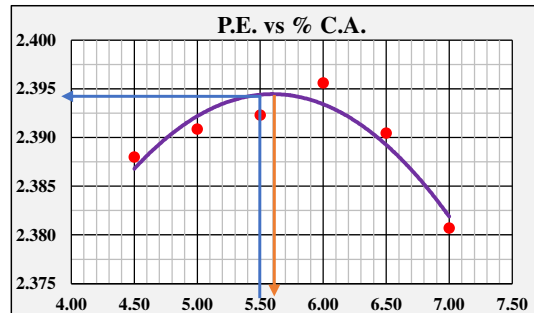
**DATOS PARA LAS GRAFICAS DE MARSHALL**

% C.A.	PE Gsb Prom.	% de Vacíos			Est. Prom. [kg]	Flujo Prom. [cm]
		Mez. [%]	Agreg. [%]	c/Asf. [%]		
4.50	2.388	3.159	11.804	73.238	1492.70	0.27
5.00	2.391	2.377	12.118	80.383	1565.63	0.28
5.50	2.392	1.659	12.482	86.707	1473.61	0.30
6.00	2.396	0.870	12.775	93.190	1464.38	0.38
6.50	2.390	0.436	13.371	96.739	1281.23	0.44
7.00	2.381	0.204	14.127	98.556	1032.62	0.52



**PROYECTO:** ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL PROVENIENTE DE PARACHOQUES DE VEHÍCULOS (BUMPER)  
**Procedencia :** Asfalto Modificado con 3.0% Bumper  
**Laboratorista:** Coyo Quispe Elio  
**Fecha:** Enero 2019

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE - METODO MARSHALL



ASFALTO MODIFICADO CON 3.0% BUMPER						
CRITERIOS DE DISEÑO (TRAFICO PESADO - 75 golpes ambas cara)						
Peso Especifico=	2.394	gr/cc	Especificaciones		Verificacion	
			Min	Max.		
Estabilidad=	1518.0 [kg]		1800[lb]		CUMPLE	
% Vacios en la mezcla=	1.57	%	3	5	NO CUMPLE	
% Vacios en el agreg.=	12.41	%	12	--	CUMPLE	
% Vacios con Asfalto=	87.33	%	65	75	CUMPLE.	
Flujo=	0.32	[cm] =	8	16	CUMPLE	
Contenido Óptimo de cemento asfáltico [%]			5.5			

CRITERIOS PARA ALTURA							
CRITERIOS DE DISEÑO (TRAFICO PESADO - 75 golpes ambas cara)							
Peso Especifico=	2.394	gr/cc	Especificaciones		Verificacion		
			Min	Max.			
Estabilidad=	1518.0 [kg]		750 kg	1500 kg	NO CUMPLE		
% Vacios en la mezcla=	1.57	%	1	3	CUMPLE		
% Vacios en el agreg.=	12.41	%	14	---	NO CUMPLE		
% Vacios con Asfalto=	87.33	%	--	--	CUMPLE.		
Flujo=	0.32	[cm] =	3.20	mm	3	7	CUMPLE
Estabilidad/flujo	4744	Kg/cm			2500	NO CUMPLE	
Contenido de cemento asfáltico %			5.5				
					6	---	NO CUMPLE



DOSIFICACION MOLDE DE AHUELLAMIENTO

ASFALTO CONVENCIONAL

Dimensiones de molde:

a=	30	cm	Compactacion:	97.00%
b=	30	cm		
espesor=	5	cm		
Volumen=	4500	cc		

Dosificacion mezcla

		% Mezcla	
% C.A.:	5.5	5.50%	
ARENA:	5.0%	4.73%	
FINO (GRAVILLA)	28.0%	26.46%	
GRAVILLA:	46.0%	43.47%	
GRAVA:	21.0%	19.85%	100.00%

Peso Especifico Mezcla: 2.400 gr/cc

Pesos de agregados y cemento asfáltico para el molde:

Peso total de mezcla para molde: 10476 gr

ARENA:	494.99	gr
FINO (GRAVILLA):	2771.95	gr
GRAVILLA:	4553.92	gr
GRAVA:	2078.96	gr
% C.A.:	576.18	gr

ASFALTO MODIFICADO 2.0% BUMPER

a=	30	cm	Compactacion:	97.00%
b=	30	cm		
espesor=	5	cm		
Volumen=	4500	cc		

Dosificacion mezcla:

		% Mezcla	
% C.A.:	5.7	5.70%	
ARENA:	5.00%	4.73%	
FINO (GRAVILLA):	28.00%	26.46%	
GRAVILLA:	46.00%	43.47%	
GRAVA:	21.00%	19.85%	100.20%

Peso Especifico Mezcla: 2.406 gr/cc

Pesos de agregados y cemento asfáltico para el molde:

Peso total de mezcla para molde: 10502.19 gr

ARENA:	496.2	gr
FINO (GRAVILLA)	2778.9	gr
GRAVILLA:	4565.3	gr
GRAVA:	2084.2	gr



<b>Proyecto :</b>	PROYECTO DE GRADO		
<b>Procedencia :</b>	Colombia	<b>Jefe de Area:</b>	Msc. Ing. Oscar Luis Perez Loayza
<b>Tipo de muestra :</b>	Asfalto Convencional	<b>Laboratorista</b>	Univ. Coyo Quispe Elio
<b>Agregados :</b>	Combinado 3/4" - 3/8" - N°10 - N°8	<b>Fecha:</b>	Febrero 2019

**ENSAYO DE AHUELLAMIENTO - RUEDA CARGADA**

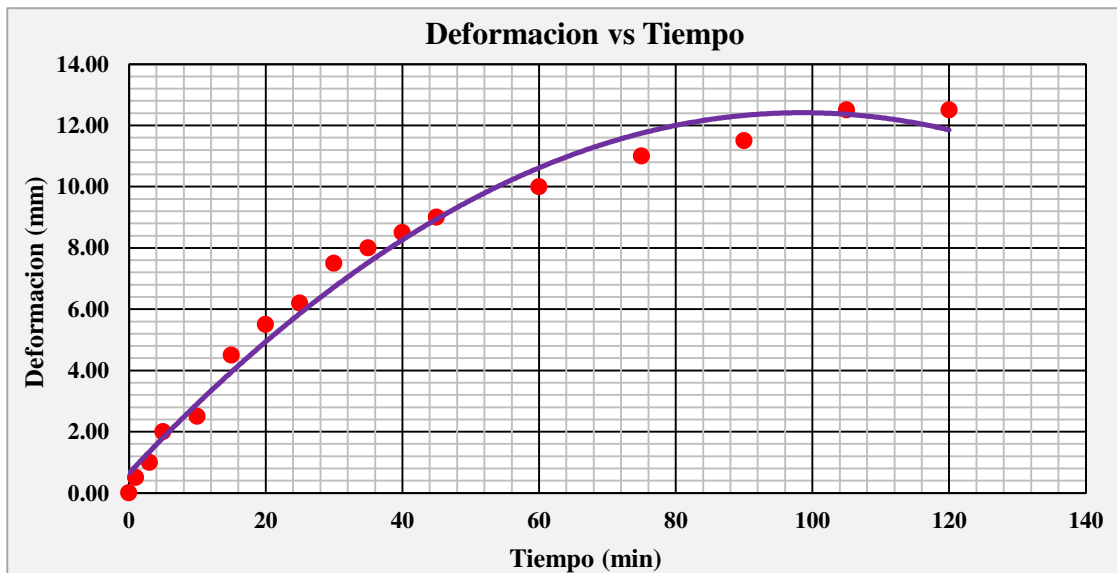
Temperatura de ensayo : 60 °C.

Presión de contacto de la rueda: 900 ± 25 kN/m<sup>2</sup>

Nro. de pasadas por minuto: 22

tiempo (min)	Deformacion (mm)	Velocidad (mm/min)	Especificaciones NLT 173/84	
0	0.000			
1	0.500			
3	1.000			
5	2.000			
10	2.500			
15	4.500			
20	5.500			
25	6.200			
30	7.500			
35	8.000			
40	8.500			
45	9.000	V 30/45= 0.100	VELOCIDAD MAXIMA DE AHUELLAMIENT O 0,015 mm/min.	AHUELLAMIENT O MAXIMO 15 mm.
60	10.000			
75	11.000			
90	11.500	V 75/90= 0.033		
105	12.500			
120	12.500	V 105/120= 0.000		

VELOCIDAD MAX:	CUMPLE
AHUELLAMIENTO:	CUMPLE





<b>Proyecto :</b>	PROYECTO DE GRADO		
<b>Procedencia :</b>	Colombia	<b>Jefe de Area:</b>	Msc. Ing. Oscar Luis Perez Loayza
<b>Tipo de muestra :</b>	Asfalto Modificado	<b>Laboratorista</b>	Univ. Coyo Quispe Elio
<b>Agregados :</b>	Combinado 3/4" - 3/8" - N°10 - N°8	<b>Fecha:</b>	Febrero 2019

**ENSAYO DE AHUELLAMIENTO - RUEDA CARGADA**

Temperatura de ensayo : 60 °C.  
Nro. de pasadas por minuto: 22

Presión de contacto de la rueda: 900 ± 25 kN/m<sup>2</sup>

tiempo (min)	Deformacion (mm)	Velocidad (mm/min)	Especificaciones NLT 173/84	
0	0.000			
1	0.000			
3	0.500			
5	0.500			
10	1.000			
15	1.100			
20	1.500			
25	1.800			
30	1.900			
35	2.000			
40	2.100			
45	2.100	V 30/45= 0.013	VELOCIDAD MAXIMA DE AHUELLAMIENTO O 0,015 mm/min.	AHUELLAMIENTO O MAXIMO 15 mm.
60	2.300			
75	2.500			
90	2.900	V 75/90= 0.027		
105	3.100			
120	3.200	V 105/120= 0.007		

VELOCIDAD MAX:	CUMPLE
AHUELLAMIENTO:	CUMPLE

