



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



---

“ESTUDIO Y ANALISIS DE DESEMPEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA  
CONVENCIONAL PEN 85/100 Plus Y MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA  
CON POLIMERO TIPO SBS PG 70 -28”

---

Presentado por:

Víctor Rafael Estrada Escalante.

Para optar al Título Profesional de

Ingeniero Civil

Nombre del Asesor:

Ing. Milton Robert Merino Yopez.

CUSCO – PERÚ  
2017



## DEDICATORIA

A mi madre, Thany Escalante Zegarra, quien fue mi apoyo constante durante el proceso de la investigación, a mi padre, Hugo Estrada Illanes, quien siempre tuve presente, a mi tío, padrino y co - asesor, MSc. Ing. Jorge Escalante Zegarra, quien fue uno de los principales forjadores y más principal fuente de apoyo y conocimiento para el desarrollo de la investigación, a mi asesor, Ing. Milton Merino Yépez, quien hizo seguimiento constante durante la investigación, a mi enamorada, María Fernanda Sorolla, quien fue apoyo moral durante el desarrollo de la investigación, a mis abuelos y segundos padres quienes siempre fueron apoyo constante en el proceso, a mi gran amigo Pedro Aldea, quien siempre con sabias palabras y consejos siempre apoyo en el desarrollo de la investigación, a mis tios y primos en general.



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios sobre todas las cosas, por permitir que esta investigación se haya llevado a cabo con éxito en su proceso y desenlace, a la empresa TDM Asfaltos S.A.C. por permitir realizar la investigación en sus instalaciones y recibir gustosamente mi propuesta, a mi madre quien constantemente fue mi apoyo, a mi querido tío, quien fue pieza fundamental en todo el proceso de la investigación.



## RESUMEN

La investigación “Análisis y Estudio del desempeño de mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus y mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28” realizó el análisis del comportamiento mecánico y el desempeño, que tienen ambos tipos de mezclas asfálticas teniendo como patrón de estudio a la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus.

Teniendo en consideración que en la región del Cusco se tiene por costumbre utilizar las mezclas asfálticas convencionales con asfalto PEN 85/100, se tomó como mezcla patrón la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus, y en este trabajo se presenta una propuesta de mejora a través de una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, la misma que toma en consideración el uso de un ligante asfáltico modificado con polímero y clasificado por performance grade (PG) recomendada por la metodología Superpave para ser utilizada en climas fríos, como es el caso de la ciudad del Cusco.

Para efectos de investigación los diseños para ambos tipos de mezclas asfálticas, se realizó teniendo en cuenta las mismas consideraciones, utilizando los mismos agregados y la misma gradación para ambas mezclas asfálticas, teniendo como única variable el tipo de ligante asfáltico utilizado para los diseños de mezcla, posteriormente fueron moldeados los cuerpos de prueba para los ensayos de desempeño teniendo en consideración el contenido óptimo de las mezclas asfálticas estudiadas.

Los ensayos de desempeño realizados buscan determinar el comportamiento de las mezclas asfálticas a los dos problemas más frecuentes que se presentan en las mezclas asfálticas como son la resistencia a la deformación permanente y la resistencia a la fatiga, por lo que se realizaron ensayos de Hamburg Wheel Tracker con la finalidad de determinar la susceptibilidad a la deformación permanente o ahuellamiento y ensayos de fatiga de viga en flexión en 4 puntos que permitirá determinar la susceptibilidad de la mezcla asfáltica a sufrir problemas de fatiga debido a las aplicaciones de carga repetitiva generadas por el volumen de tráfico. Estos ensayos permitirán determinar el desempeño de las mezclas asfálticas y su comportamiento en servicio.





## ABSTRACT

The research "Analysis and Study of the performance of conventional asphalt mixture PEN 85/100 Plus and modified asphalt mixture with polymer SBS PG 70 -28" proposes to carry out the analysis of the mechanical behavior and the performance, that have both types of asphaltic mixtures having as patron of study the conventional asphalt mixture PEN 85/100 Plus.

Taking as a fact that in Cusco usually use conventional asphalt mixtures with asphalt PEN 85/100, the standard asphalt mixture PEN 85/100 Plus was used as the standard mixture, and in this work a proposal for improvement through an asphalt mixture modified with SBS PG 70 -28 polymer, which takes the polymer modified asphalt binder and classified by performance grade (PG) recommended by the Superpave methodology to be used in cold climates, as it happen in Cusco. For research purposes, the designs for both types of asphalt mixtures were made under the same considerations, using the same aggregates and the same gradation for both asphalt mixtures, having as only variable the kind of asphalt binder used for the mix designs, the test bodies were then molded for performance tests taking the optimum content of the asphalt mixtures studied.

The performance tests performed try to determine the behavior of the asphalt mixtures to the two most frequent problems that happen in the asphalt mixtures as they are, the resistance to the permanent deformation and the resistance to fatigue, reason why tests of Hamburg Wheel Tracking with the purpose of determining the susceptibility to the permanent deformation or rutting and fatigue tests in 4-point beam that will allow to determine the susceptibility of the asphalt mixture to suffer fatigue problems due to repetitive load applications generated by the volume of traffic . These tests will allow to determine the performance of the asphalt mixtures and their behavior in service.



## INTRODUCCIÓN

En la localidad de Cusco, la concepción y tecnología de mezclas asfálticas y el uso de un adecuado ligante asfáltico, es deficiente; según se pudo ver en algunas obras de pavimentación que se vinieron realizando, la investigación trata de hacer el análisis de desempeño de la mezcla asfáltica usada convencionalmente en nuestra localidad y de una nueva opción de mezcla asfáltica modificada con polímeros que pretende proporcionar mayores beneficios.

Para la presente investigación se identifica el problema mediante la observación y análisis de una realidad de nuestra localidad, para después establecer nuestras hipótesis y plantear nuestros objetivos. Se necesitan realizar pruebas de laboratorio, obtener resultados y analizarlos para verificar si cumplen nuestras hipótesis y también si logramos cumplir nuestros objetivos en caso los resultados sean positivos y así lograr concluir con nuestra investigación.

La presente investigación cuenta con los siguientes capítulos: Capítulo I: Planteamiento del problema, capítulo II: Marco Teórico, capítulo III: Metodología, capítulo IV: Resultados, capítulo V: Discusión, glosario, conclusiones de la investigación, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.



## INDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b> .....	I
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	II
<b>RESUMEN</b> .....	III
<b>ABSTRACT</b> .....	IV
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	V
<b>INDICE GENERAL</b> .....	VI
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	XV
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	XIX
<b>CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:</b> .....	1
1.1. Identificación del Problema:.....	1
1.1.1. Descripción del Problema: .....	1
1.2. Formulación del Problema: .....	2
1.2.1. Formulación Interrogativa del Problema General: .....	2
1.2.2. Formulación interrogativa de los Problemas Específicos:.....	2
1.3. Justificación e Importancia del Problema:.....	3
1.3.1. Justificación técnica.....	3
1.3.2. Justificación Social .....	3
1.3.3. Justificación de Viabilidad.....	3
1.3.4. Justificación de Relevancia.....	4
1.4. Limitaciones de la Investigación .....	4
1.5. Objetivos de la Investigación .....	5
1.5.1. Objetivo General.....	5
1.5.2. Objetivos Específicos .....	5
1.6. Hipótesis.....	6
1.6.1. Hipótesis General .....	6



1.6.2. Sub hipótesis ..... 6

1.7. Definición de Variables ..... 6

1.7.1. Variable Independiente ..... 6

1.7.2. Variables Dependientes..... 7

**CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO. .... 10**

2.1. Antecedentes de la Tesis..... 10

2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional ..... 10

2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional ..... 12

2.2. Bases Teórico – Científicas ..... 19

2.2.1. Agregado ..... 19

2.2.2. Materiales Bituminosos:..... 21

2.2.3. Composición Química del Asfalto: ..... 25

2.2.4. Temperatura de aplicación del material bituminoso:..... 26

2.2.5. Envejecimiento ..... 27

2.2.6. Ligantes Asfálticos ..... 28

2.2.7. Polímeros..... 29

2.2.7.1. Polímeros Elastómeros ..... 30

2.2.7.2. Polímeros Termoplásticos ..... 32

2.2.7.3. Polímeros Termorrígidos ..... 32

2.2.8. Ventajas técnicas de los Asfaltos modificados por Polímeros ..... 32

2.2.9. Proceso de incorporación y mecanismo de modificación del asfalto con polímero SBS..... 33

2.2.10. Pavimento de Concreto Asfáltico en caliente ..... 36

2.2.10.1. Agregado minerales Gruesos:..... 37

2.2.10.2. Agregado minerales Finos: ..... 37

2.2.10.3. Gradación:..... 38

2.2.10.4. Filler o polvo mineral: ..... 39



2.2.10.5. Cemento asfáltico: ..... 40

2.2.11. Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente - Método Marshall..... 40

2.2.12. Estabilidad y Flujo de Mezclas Asfálticas ..... 40

2.2.13. Desempeño de Mezclas Asfálticas..... 41

**CAPITULO 3. METODOLOGÍA ..... 44**

3.1. Metodología De La Investigación..... 44

3.1.1. Tipo de Investigación ..... 44

3.1.2. Nivel de Investigación ..... 44

3.1.3. Método de Investigación ..... 45

3.2. Diseño de Investigación..... 45

3.2.1. Diseño Metodológico ..... 45

3.2.2. Diseño de Ingeniería..... 46

3.3. Población y muestra ..... 47

3.3.1. Población ..... 47

3.3.1.1. Descripción de la Población..... 47

3.3.1.2. Cuantificación de la Población..... 47

3.3.2. Muestra..... 48

3.3.2.1. Descripción de Muestra ..... 48

3.3.2.2. Cuantificación de Muestra ..... 48

3.3.2.3. Método de Muestreo ..... 48

3.3.2.4. Criterios de Evaluación de Muestra ..... 48

3.3.2.5. Criterios de Inclusión ..... 49

3.4. Instrumentos ..... 50

3.4.1. Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos.  
..... 50

3.4.2. Instrumentos de Ingeniería. .... 51

3.5. Procedimientos de Recolección de Datos ..... 52



AGREGADOS..... 52

3.5.1. Análisis Granulométrico..... 52

a) Equipos utilizados en la Prueba..... 52

b) Procedimiento..... 52

c) Toma de Datos..... 55

3.5.2. Humedad en los agregados..... 56

a) Equipos utilizados en la Prueba..... 56

b) Procedimiento..... 56

c) Toma de Datos..... 57

3.5.3. Equivalente de Arena..... 57

a) Equipos utilizados en la Prueba..... 57

b) Procedimiento..... 57

c) Toma de Datos..... 58

3.5.4. Gravedad Específica..... 58

a) Equipos Utilizados en la Prueba..... 58

b) Procedimiento..... 59

c) Toma de Datos..... 60

LIGANTES ASFALTICOS..... 61

3.5.5. Punto de Inflamación o Copa Abierta Cleveland..... 61

a) Equipos Utilizados en la Prueba..... 61

b) Procedimiento..... 61

c) Toma de Datos..... 62

3.5.6. Solubilidad en Tricloroetileno..... 62

a) Equipos Utilizados en la Prueba..... 62

c) Toma de Datos..... 64

3.5.7. Penetración..... 64

a) Equipos Utilizados en la Prueba..... 64



b) Procedimiento ..... 64

c) Toma de Datos ..... 66

3.5.8. Punto de Ablandamiento ..... 67

a) Equipos Utilizados en la Prueba ..... 67

b) Procedimiento ..... 67

c) Toma de Datos ..... 69

3.5.9. Ductilidad..... 69

a) Equipos Utilizados en la Prueba ..... 69

b) Procedimiento ..... 69

c) Toma de Datos ..... 70

3.5.10. Recuperación Elástica Lineal ..... 70

a) Equipos Utilizados en la Prueba ..... 70

b) Procedimiento ..... 70

c) Toma de Datos ..... 70

3. Toma de Datos ..... 72

3.5.11. Viscosidad Cinemática ..... 72

a) Equipos Utilizados en la Prueba ..... 72

b) Procedimiento ..... 72

c) Toma de Datos ..... 74

3.5.12. Viscosidad Brookfield ..... 74

a) Equipos Utilizados en la Prueba ..... 74

b) Procedimiento ..... 74

c) Toma de Datos ..... 75

3.5.13. Corte Dinámico – DSR ..... 75

a) Equipos Utilizados en la Prueba ..... 75

3.5.14. Envejecimiento a corto plazo – RTFOT ..... 77

a) Equipos Utilizados en la Prueba ..... 77

c) Toma de Datos ..... 79



El ensayo de Envejecimiento a corto plazo – RTFOT, nos permite determinar la pérdida de masa que tiene el ligante asfáltico durante el envejecimiento a corto plazo. .... 79

3.5.15. Envejecimiento a largo plazo - PAV ..... 79

a) Equipos Utilizados en la Prueba ..... 79

3.5.16. Ensayo de Viga en Flexión..... 81

a) Equipos Utilizados en la Prueba ..... 81

MEZCLA ASFALTICA..... 83

3.5.17. Método MARSHALL ..... 83

a) Equipos Utilizados en la Prueba ..... 83

c) Toma de Datos ..... 90

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS ..... 90

3.5.18. Gravedad Específica Máxima – Rice..... 90

a) Equipos Utilizados en la Prueba ..... 90

c) Toma de Datos ..... 93

3.5.19. Densidad Aparente de la Mezcla Asfáltica ..... 93

a) Equipos Utilizados en la Prueba ..... 93

c) Toma de Datos ..... 95

DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS ..... 95

HAMBURG WHEEL – TRACK..... 95

a) Equipos Utilizados en la Prueba ..... 95

c) Toma de Datos .....101

DETERMINACION DE LA VIDA A LA FATIGA DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTAS SUJETAS A CARGAS REPETITIVAS .....101

a) Equipos Utilizados en la Prueba .....101

c) Toma de Datos .....104

3.6. Procedimientos de Análisis de Datos.....104





3.6.1. Análisis Granulométrico .....104

a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba: .....104

b) Diagramas o Tablas: .....105

c) Análisis de la Prueba: .....108

3.6.2. Humedad en los agregados.....108

a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba: .....108

b) Diagramas o Tablas: .....108

c) Análisis de la Prueba: .....109

3.6.3. Equivalente de Arena .....109

a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba: .....109

b) Diagramas o Tablas: .....109

c) Análisis de la Prueba: .....109

3.6.4. Gravedad Específica .....110

a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba: .....110

b) Diagramas o Tablas: .....110

c) Análisis de la Prueba: .....111

LIGANTES ASFALTICOS.....116

3.6.5. Punto de Inflamación .....116

a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba: .....116

b) Diagramas o Tablas: .....116

c) Análisis de la Prueba: .....116

3.6.6. Solubilidad en Tricloroetileno.....116

a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba: .....116

b) Diagramas o Tablas: .....117

c) Análisis de la Prueba: .....117

3.6.7. Penetración.....117

a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba: .....117



b) Diagramas o Tablas: .....118

c) Análisis de la Prueba: .....118

3.6.8. Punto de Ablandamiento .....118

a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba: .....118

b) Diagramas o Tablas: .....118

c) Análisis de la Prueba: .....118

3.6.9. Ductilidad.....119

a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba: .....119

b) Diagramas o Tablas: .....119

c) Análisis de la Prueba: .....119

3.6.10. Recuperación Elástica Lineal .....119

a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba: .....119

b) Diagramas o Tablas: .....120

c) Análisis de la Prueba: .....120

3.6.11. Viscosidad Cinemática .....120

a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba: .....120

b) Diagramas o Tablas: .....120

c) Análisis de la Prueba: .....120

3.6.12. Viscosidad Brookfield .....121

a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba: .....121

b) Diagramas o Tablas: .....121

c) Análisis de la Prueba: .....122

3.6.13. Corte Dinámico – DSR .....122

3.6.14. Envejecimiento a corto plazo – RTFOT .....123

3.6.15. Envejecimiento a largo plazo – PAV.....124

3.6.16. Ensayo de Viga en Flexión - BBR .....125

MEZCLA ASFALTICA.....131



3.6.16. Método MARSHALL .....131

a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba: .....131

3.6.17. Gravedad Específica Máxima – Rice.....133

3.6.18. Densidad de Mezcla .....134

DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS .....135

HAMBURG WHEEL – TRACK.....135

DETERMINACIÓN DE LA VIDA A LA FATIGA DE MEZCLAS ASFALTICAS  
COMPACTAS SUJETAS A CARGAS REPETITIVAS .....141

**CAPITULO 4. RESULTADOS .....148**

4.1. DEL DISEÑO DE MEZCLA.....148

4.2. DE LOS ENSAYOS DE DESEMPEÑO .....150

**CAPITULO 5. DISCUSIÓN .....153**

**GLOSARIO .....156**

**CONCLUSIONES .....157**

**RECOMENDACIONES .....160**

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....162**

**ANEXOS .....163**

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1: Operacionalización de variables .....	9
Tabla 2.1 – Selección del tipo de cemento asfáltico. ....	22
Tabla 2.2– Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración. .....	23
Tabla 2.3– Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad.	23
Tabla 2.4 – Clasificación de Ligantes Asfálticos de acuerdo a Performance Grade (PG).....	24
Tabla 2.5 - Clasificación de Ligantes Asfálticos de acuerdo a Performance Grade (PG) (continuación). ....	24
Tabla 2.6– Rangos de Temperatura de aplicación.....	26
Tabla 2.7–Requerimientos para los agregados gruesos.....	37
Tabla 2.8–Requerimientos para los agregados finos. ....	38
Tabla 2.9–Gradación para agregados MAC.....	39
Tabla 2.10: Husos granulométricos según ASTM D 3515. ....	39
Tabla 3.1–Cuantificación de población. ....	47
Tabla 3.2–Cuantificación de Muestra.....	48
Tabla 3.3–Granulometrías para Mezclas, huso 5 resaltado en rojo.....	54
Tabla 3.4–Toma de datos Granulometría .....	55
Tabla 3.5–Toma de datos Humedad.....	57
Tabla 3.6–Toma de datos Equivalente de Arena .....	58
Tabla 3.7–Toma de datos Gravedad Especifica .....	60
Tabla 3.8–Toma de datos Punto de Inflamación.....	62
Tabla 3.9–Toma de datos Solubilidad en Tricloroetileno. ....	64
Tabla 3.10–Toma de datos Penetración .....	67
Tabla 3.11–Toma de datos Punto de Ablandamiento .....	69
Tabla 3.12 –Toma de datos Ductilidad.....	70
Tabla 3.13–Toma de datos Recuperación elástica lineal.....	72
Tabla 3.14–Toma de datos Viscosidad Cinemática .....	74
Tabla 3.15–Toma de datos de la Viscosidad Brookfield .....	75
Tabla 3.16 – Valor de PG a 70°C, obtenido del DSR.....	77
Tabla 3.17 – Pérdida de masa después de envejecimiento a corto plazo – RTFOT.....	79



Tabla 3.18 – Resultados obtenidos del Reómetro de Viga en Flexión – BBR..	83
Tabla 3.19–Toma de datos Ensayo Marshall.....	90
Tabla 3.20 : APU para la producción de las mezclas asfálticas.....	90
Tabla 3.21–Toma de datos Peso Específico Máximo (Rice).....	93
Tabla 3.22–Toma de datos Densidad de Mezcla.....	95
Tabla 3.23–Toma de datos Rueda de Hamburgo (1).....	101
Tabla 3.24 - Toma de datos Rueda de Hamburgo (2).....	101
Tabla 3.25–Toma de datos Prueba de Fatiga 4 puntos (1).....	104
Tabla 3.26 - Toma de datos Prueba de Fatiga 4 puntos (2).....	104
Tabla 3.27–Distribución Granulométrica ASTM D 3515 huso 5.....	105
Tabla 3.28 - ANALISIS GRANULOMETRICO PARA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL PEN 85/100 Plus .....	106
Tabla 3.29 - ANALISIS GRANULOMETRICO PARA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBS BETUTEC PG 70 -28.....	107
Tabla 3.30– Toma de datos y análisis de Humedad.....	108
Tabla 3.31–Procesamiento de Equivalente de arena.....	109
Tabla 3.32–Procesamiento de Gravedad Específica.....	110
Tabla 3.33 - ANALISIS PARA MEZCLA ASFALTICA CON LIGANTE CONVENCIONAL PEN 85/100 Plus .....	112
Tabla 3.34 - ANALISIS PARA MEZCLA ASFALTICA CON LIGANTE MODIFICADO CON POLIMERO BETUTEC PG 70 -28.....	113
Tabla 3.35 - ANALISIS DE PROPIEDADES VOLUMETRICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA CON LIGANTE CONVENCIONAL PEN 85/100 Plus.....	114
Tabla 3.36 - ANALISIS DE PROPIEDADES VOLUMETRICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA CON LIGANTE MODIFICADO CON POLIMERO SBS BETUTEC PG 70 -28.....	115
Tabla 3.37–Procesamiento de punto de inflamación.....	116
Tabla 3.38–Procesamiento de Solubilidad en Tricloroetileno.....	117
Tabla 3.39–Procesamiento de Penetración en Ligantes.....	118
Tabla 3.40–Procesamiento de Punto de Ablandamiento en Ligantes.....	118
Tabla 3.41–Procesamiento Ductilidad en Ligantes.....	119
Tabla 3.42 – Resultado de Recuperación elástica lineal a 25°C.....	119
Tabla 3.43–Procesamiento Viscosidad Cinemática en Ligantes.....	120
Tabla 3.44–Carta de viscosidades PEN 85/100 Plus.....	121



Tabla 3.45–Procesamiento Viscosidad Brookfield en Ligantes.....121

Tabla 3.46–Carta de viscosidades PG 70 -28 (véase también en líneas más abajo).....122

Tabla 3.47 – Resultados PG para el ligante asfáltico obtenidos del DSR.....123

Tabla 3.48 – Pérdida de masa del ligante asfáltico después de envejecimiento a corto plazo - RTFOT. ....124

Tabla 3.49 – Resultados obtenido en el Reometro de Viga en Flexion.....126

Tabla 3.50 – CARACTERIZACIÓN DEL LIGANTE ASFALTICO CONVENCIONAL PEN 85/100 Plus .....126

Tabla 3.51 - CARTA DE VISCOCIDAD-TEMPERATURA DEL LIGANTE ASFALTICO CONVENCIONAL PEN 85/100 Plus .....127

Tabla 3.52 - CARACTERIZACIÓN DEL LIGANTE ASFALTICO MODIFICADO CON POLIMERO SBS BETUTEC PG 70 -28 .....128

Tabla 3.53 - CARTA DE VISCOCIDAD-TEMPERATURA DEL LIGANTE ASFALTICO MODIFICADO CON POLIMERO SBS BETUTEC PG 70 -28. ...129

Tabla 3.54 - CARACTERIZACIÓN POR PERFORMANCE GRADE (PG) DEL LIGANTE ASFALTICO MODIFICADO BETUTEC PG 70 -28.....130

Tabla 3.55 - HOJA RESUMEN DE DISEÑO DE MEZCLA MARSHALL CON ASFALTO CONVENCIONAL PEN 85/100 Plus .....131

Tabla 3.56 - HOJA RESUMEN DE DISEÑO DE MEZCLA MARSHALLCON ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO SBS BETUTEC PG 70 -28. ....132

Tabla 3.57–Resultados obtenidos del ensayo de Gravedad especifica máxima o Rice.....133

Tabla 3.58– Resultados obtenidos del ensayo de Densidad de las mezclas asfálticas. ....134

Tabla 3.59– Resultados de la Prueba de Hamburg Wheel Track(1). ....135

Tabla 3.60 – Resultados de la prueba de Hamburg Wheel Track (2). ....136

Tabla 3.61–Procesamiento de Vida a la Fatiga, 4 puntos (1).....141

Tabla 3.62 - Procesamiento de Vida a la Fatiga, 4 puntos (2). ....142

Tabla 4.1–Resultados de Diseño de Mezcla.....148

Tabla 4.2–Resultados promedio de Resistencia a la deformación permanente. ....150

Tabla 4.3–Resultados de Resistencia a la fatiga en viga de 4 puntos. ....152



Tabla 0.1 : Características de la Mezcla asfáltica Modificada con Polímeros  
SBS PG 70 -28.....163

Tabla 0.2: Características de la mezcla asfáltica Convencional PEN 85/100  
Plus. ....164



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Cargas actuales en vías peruanas.....	1
Figura 1.2: Fatiga av. Cultura.....	Figura 1.3: Ahuellamiento.
2	
Figura 2.1 – Influencia de la composición química del CAP en la compatibilidad de asfaltos modificados por SBS. ....	33
Figura 2.2 Alteración del punto de ablandamiento del asfalto modificado con el contenido de polímero.....	34
Figura 2.3 Observación de estructuras de asfalto modificado con diferentes contenidos de SBS en el microscopio de reflexión de fluorescencia. ....	36
Figura 2.4 – comportamiento por deformación controlada del ensayo.....	43
Figura 2.5 – falla por deformación controlada.....	43
Figura 3.1 – Control de agregados recibidos. ....	53
Figura 3.2: Cuarteo de los Agregados de la cantera “Supermix” – Cusco. ....	53
Figura 3.3 – Tamizado de agregados. ....	54
Figura 3.4 – Tamizado de agregados. ....	54
Figura 3.5 – Tamizado mecánico agregado fino. ....	55
Figura 3.6 – Ingreso de agregados al horno. ....	56
Figura 3.7– Equivalente de arena. ....	58
Figura 3.8 – vertido del agregado en la fiola de 500 ml. ....	59
Figura 3.9 – Peso específico de los agregados. ....	60
Figura 3.10– Equipo de Punto de inflamación.....	61
Figura 3.11. – Ensayo Punto de Inflamación. ....	62
Figura 3.12 – Equipo de Solubilidad. ....	63
Figura 3.13. – Ensayo de Solubilidad.....	63
Figura 3.14 – Equipo de Penetración.....	65
Figura 3.15 – Muestras para Ensayo de Penetración. ....	66
Figura 3.16 – Equipo de Penetración.....	66
Figura 3.17 – Muestras para Punto de Ablandamiento con ligero excedente para enrasar.....	67
Figura 3.18 – Ensayo Punto de Ablandamiento.....	68
Figura 3.19 – Ductilometro.....	69





Figura 3.20. – Ensayo de Ductilidad. .... 70

Figura 3.21– Ductilometro. .... 71

Figura 3.22. – Muestras de Ensayo de Recuperación elástica lineal. .... 71

Figura 3.23 - Muestras y Resultados de Ensayo de Recuperación elástica lineal..... 72

Figura 3.24 – Equipo de viscosidad cinemática. .... 73

Figura 3.25 – Cronometrando el flujo del ligante asfaltico durante el ensayo de viscosidad cinemática. .... 74

Figura 3.26 – Equipo de viscosidad Brookfield ..... 75

Figura 3.27 – Ensayo de Viscosidad Brookfield..... 75

Figura 3.28 – Reometro de Corte Dinamico..... 76

Figura 3.29 – Muestras de Ligante Asfaltico de 25 mm. .... 76

Figura 3.30. – Horno de película fina rotatoria ..... 78

Figura 3.31 – Ingreso de vasos con ligante ..... 79

Figura 3.32 – Ingreso a horno de Envejecimiento al vacío PAV ..... 80

Figura 3.33. – VDO para extraer el aire atrapado en el PAV. .... 81

Figura 3.34 – Reómetro de Viga en Flexión – BBR. .... 81

Figura 3.35 – Cámara interna del Reómetro de Viga en Flexión – BBR. .... 82

Figura 3.36 – Proceso De Pesado De Los Agregados Pétreos, Tanto Gruesos, Como Finos Y El Filler ..... 84

Figura 3.37 – Mezcla De Los Agregados Gruesos, Finos Y Filler, Ya Debidamente Pesados Y Calientes..... 85

Figura 3.38 – Inclusión del ligante asfaltico a la mezcla de los agregados. .... 85

Figura 3.39 – Proceso de mezcla y extracción de mezcla. .... 86

Figura 3.40. – Preparación de mezcla y horno de curado..... 86

Figura 3.41. – Compactación Marshall..... 87

Figura 3.42 – 75 golpes para la producción de nuestras briquetas..... 87

Figura 3.43 – Obtención de briqueta método Marshall. .... 88

Figura 3.44 – Briquetas obtenidas método Marshall..... 88

Figura 3.45. – Ensayo Marshall Estabilidad y Flujo..... 89

Figura 3.46. – Baño María a 60°C..... 89

Figura 3.47 – Ensayo Estabilidad – Flujo..... 89

Figura 3.48 – Calibración del Matraz. .... 91

Figura 3.49 – Vertimiento de la mezcla dentro del matraz. .... 92



Figura 3.50 – Extracción del aire atrapado, a 30 mmHg durante 20 min. .... 92

Figura 3.51 – Sumergimiento de briquetas para su saturación..... 94

Figura 3.52 – Obtención del Peso Sumergido..... 94

Figura 3.53 – Obtención de Peso Superficialmente Seco..... 95

Figura 3.54 – Vertimiento de mezcla dentro del molde de compactación  
SUPERPAVE. .... 96

Figura 3.55 –Colocado del molde con muestra en el compactador giratorio. .. 97

Figura 3.56 – Briqueta compactada obtenida. .... 97

Figura 3.57 – Cuerpos de Prueba Resistencia a Deformación Permanente. .... 98

Figura 3.58 – Colocación de cuerpos de prueba al Hamburg Wheel track. .... 98

Figura 3.59. – Baño María de agua a 50°C..... 99

Figura 3.60. – Ensayo Hamburg Wheel-track. .... 99

Figura 3.61. – Ingreso de datos al software del Hamburg Wheel track.....100

Figura 3.62. – Tabla de datos del Hamburg Wheel track.....100

Figura 3.63 – Resultados de Hamburg Wheel Track. ....100

Figura 3.64. – Equipo de resistencia a fatiga 4 puntos de ensayo.....102

Figura 3.65. – Ingreso de viga a cámara de fatiga. ....102

Figura 3.66. – Falla por fatiga de viga.....103

Figura 3.67. – Procesamiento de datos, cámara de fatiga.....103

Figura 3.68. – Diagrama de Comportamiento PEN85/100 Plus (1).....137

Figura 3.69. – Diagrama de Comportamiento PG 70 -28 (1). ....138

Figura 3.70 - Diagrama de Comportamiento PEN85/100 Plus (2). ....139

Figura 3.71 - Diagrama de Comportamiento PG 70 -28 (2). ....140

Figura 3.72. – Diagrama de Comportamiento a Fatiga PEN 85/100Plus (1)...143

Figura 3.73. – Diagrama de Comportamiento a Fatiga PG 70 -28 (1).....144

Figura 3.74 - Diagrama de Comportamiento a Fatiga PEN 85/100Plus (2). ..145

Figura 3.75 - Diagrama de Comportamiento a Fatiga PG 70 -28 (2). ....146

Figura 4.1 : Contenido Optimo De Asfalto.....148

Figura 4.2 : Estabilidad De Mezclas Asfálticas.....149

Figura 4.3 : Flujo de Mezclas Asfálticas.....150

Figura 4.4: Profundidad de huella en briquetas de mezcla asfáltica .....151

Figura 4.5 : Número de ciclos de carga recibidos en cámara de fatiga para cada  
tipo de mezcla asfáltica.....152

## CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

### 1.1. Identificación del Problema:

#### 1.1.1. Descripción del Problema:

En la actualidad el gran crecimiento de la infraestructura de nuestro país, conlleva a los grandes movimientos de logística y transporte de carga, con lo cual los volúmenes de tráfico que transitan por nuestras vías ha crecido exponencialmente, esto exige a nuestro país implementar una política agresiva de mantenimiento y conservación de carreteras, así como la construcción de ejes viales importantes para el crecimiento de nuestro País.



*Figura 1.1: Cargas actuales en vías peruanas*

FUENTE: Ponencia ILIEV Ing. Escalante.

En nuestra ciudad de Cusco, tanto el tránsito como la magnitud de los mismos, que incrementaron en los últimos tiempos de manera muy notoria, debido al crecimiento demográfico, económico e industrial, que se va presenciando en nuestra ciudad.

Por las razones, nuestras vías reciben mayores cargas y también de manera más constante, por lo cual, los diseños para los cuales fueron hechos, ya no satisfacen la demanda de hoy, por lo que se van dañando, presentando deformaciones permanentes y también fallas por fatiga, según sea el caso.



Figura 1.2: Fatiga av. Cultura

FUENTE: Propia



Figura 1.3: Ahuellamiento.

FUENTE: Propia

Por lo que en esta ocasión realizaremos un “Estudio de desempeño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros tipo: SBS” con el objetivo de verificar el tipo de mezclas asfáltica más adecuada para el uso en nuestras obras viales.

## 1.2. Formulación del Problema:

### 1.2.1. Formulación Interrogativa del Problema General:

¿En qué medida el desempeño de una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 es mejor frente al desempeño ofrecido por una mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus?

### 1.2.2. Formulación interrogativa de los Problemas Específicos:

**Problema Específico 1.** ¿Existe variación en cuanto al contenido de ligante asfáltico de una mezcla asfáltica convencional con una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS?

**Problema Específico 2.** ¿Cuál será la estabilidad de una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS?

**Problema Específico 3.** ¿Cuál será el flujo que ofrece una Mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS?

**Problema Especifico 4.** ¿Cuál será la resistencia a la deformación permanente de una Mezcla Asfáltica convencional y la de una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS?



**Problema Especifico 5.** ¿Cuál será la resistencia a la fatiga de una mezcla asfáltica convencional y la de una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS?

### **1.3. Justificación e Importancia del Problema:**

#### **1.3.1. Justificación técnica**

Se trata de analizar y saber cuál de los diseños de mezcla asfáltica, sea la realizada con ligante asfáltico convencional o la realizada con ligante asfáltico modificado con polímero SBS, es la que nos ofrecerá un mayor desempeño y por consiguiente la mayor vida útil, mayor resistencia a cargas elevadas y constantes y a distintas temperaturas para lo cual, se realiza el presente estudio, donde se analiza intrínsecamente cada una de las mezclas asfálticas desarrolladas con los diferentes ligantes asfálticos.

#### **1.3.2. Justificación Social**

En lo social, la utilización de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBS traerán consigo desarrollo y seguridad al usuario, ya que una vía en la cual se hace el uso de este tipo de mezcla asfáltica estará sujeto a menores costos de mantenimiento que una desarrollada con una mezcla asfáltica realizada con ligante asfáltico convencional, así mismo ofrecerá un mejor nivel de servicio y confort para la sociedad que hace uso de la vía en cuestión, así mismo los accidentes disminuirán, estos en un porcentaje pueden ser por fallas en el pavimento.

Así mismo esta investigación contribuirá al conocimiento de los estudiantes de ingeniería e ingenieros titulados en actividad, que estén interesados o inmersos dentro del mundo de los pavimentos, mezclas asfálticas y mejores opciones tecnológicas en el uso de mezclas asfálticas.

#### **1.3.3. Justificación de Viabilidad**

La investigación es totalmente posible de realizarla ya que se cuentan con todos los instrumentos necesarios para poder investigar el comportamiento y desempeño que tendrá cada una de las mezclas asfálticas, proporcionados por el Centro de Desarrollo Tecnológico de



la empresa TDM Asfaltos S.A.C., así como también se cuentan con los materiales, ya sea este el asfalto convencional PEN 85/100 Plus como también con el asfalto modificado con polímero SBS PG 70 -28. La viabilidad de una obra que se realice con mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBS es técnicamente posible frente a una mezcla asfáltica convencional, ya que se supone que esta mezcla asfáltica modificada traerá consigo mayores beneficios y mejores características frente a una mezcla asfáltica convencional, lo cual influye positivamente en la viabilidad en cuanto a la utilización de esta tecnología en obras viales.

#### **1.3.4. Justificación de Relevancia**

El uso de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 frente a la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus, impera su relevancia debido a que en nuestra localidad se cuenta con gradientes de temperatura agresivas, muy bajas en invierno y altas en ciertas partes del año, para lo cual la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presenta un mejor comportamiento reométrico, así como también mejor desempeño, garantizando un resultado de calidad siendo este puesto en obra, por otro lado para obras civiles se necesitan los mejores materiales y los mejores equipos para así lograr los mejores resultados, para lo cual, una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presentará tales beneficios frente a una mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus.

#### **1.4. Limitaciones de la Investigación**

La investigación a realizar se basa en el análisis del desempeño de cada una de los tipos de mezclas asfálticas, convencional y modificada con polímeros SBS, que vienen a ser la resistencia a la deformación permanente y también la vida o resistencia a la fatiga.

Los dos tipos de las mezclas asfálticas que se investigaran serán de los tipos, convencional que cuenta con un aditivo mejorador de adherencia por ende la denominación (Plus) y la segunda es la mezcla asfáltica modificada





con polímero elastomérico SBS, estas mezclas se realizarán mediante el método desarrollado por la AASHTO, diseño Marshall.

Ambos tipos de ligante serán proporcionados por la empresa TDM asfaltos S.A.C. (planta de asfalto principal Lurín – Lima), tanto el ligante asfáltico convencional denominado PEN 85/100 Plus, con la denominación Plus debido a que cuenta con aditivo mejorador de Adherencia, Adhesol 9000 (en una cantidad de 0.5% del peso de cemento asfáltico) en su composición, y el ligante asfáltico modificado con polímero tipo SBS BETUTEC PG 70 -28.

Los ensayos de laboratorio que se realizaran, tanto para el ligante asfáltico (en sus dos clases, convencional y modificado con polímero SBS), los agregados pétreos y los productos finales que vienen a ser la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS, se realizaran en los laboratorios certificados con normas ISO de la empresa TDM asfaltos ubicada en Lurín – Lima, contando con el apoyo integro de tal empresa.

Los manuales a utilizar para los análisis a ambos tipos de mezclas asfálticas, son los manuales de la AASHTO, ASTM y MTC.

## 1.5. Objetivos de la Investigación

### 1.5.1. Objetivo General

Estudiar y evaluar el desempeño de mezclas asfálticas convencional PEN 85/100 Plus y modificada con polímero de tipo SBS PG 70 -28 y determinar cuál de las mezclas asfálticas presenta mejor desempeño.

### 1.5.2. Objetivos Específicos

**Objetivo Específico 1.** Establecer el contenido óptimo de asfalto para ambos tipos de mezclas asfálticas, mediante el diseño de mezcla Marshall.

**Objetivo Específico 2.** Obtener los valores de la estabilidad que presentara la mezcla asfáltica con asfalto convencional PEN 85/100 Plus y con asfalto modificado con polímero SBS PG 70 -28.

**Objetivo Específico 3.** Obtener los valores del flujo que presentarán la mezcla asfáltica con asfalto convencional PEN 85/100 Plus y mezcla asfáltica con asfalto modificado con polímero SBS PG 70 -28.



**Objetivo Específico 4.** Obtener y analizar los valores de resistencia a la deformación permanente de las mezclas asfálticas con asfalto convencional PEN 85/100 Plus y con asfalto modificado con polímero SBS PG 70 -28.

**Objetivo Específico 5.** Obtener y analizar la resistencia o vida a la fatiga de la mezcla asfáltica con asfalto convencional PEN 85/100 Plus y la mezcla asfáltica con asfalto modificado con polímero SBS PG 70 -28.

## 1.6. Hipótesis

### 1.6.1. Hipótesis General

El uso de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 ofrecerá una mejor respuesta mecánica, un mejor desempeño de la carpeta asfáltica y por consiguiente incremento de la vida útil de la estructura total del pavimento.

### 1.6.2. Sub hipótesis

**Sub Hipótesis 1.** Ambos diseños de Mezcla cuentan con el mismo contenido de ligante asfáltico, independiente de su naturaleza, sea este mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus o mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28.

**Sub Hipótesis 2.** La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 nos ofrecerá un mayor nivel de estabilidad.

**Sub Hipótesis 3.** La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 nos ofrecerá un menor nivel de flujo.

**Sub Hipótesis 4.** La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presentará mejor desempeño en cuanto a la resistencia a la deformación permanente.

**Sub Hipótesis 5.** La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presentara mejor resistencia a la fatiga.

## 1.7. Definición de Variables

### 1.7.1. Variable Independiente

#### **Mezcla Asfáltica Convencional:**

Es la mezcla que se realiza con agregados pétreos debidamente seleccionados y gradados (dosificado en peso), ligante asfáltico



convencional (dosificado en 4% del peso total del ligante asfáltico) y filler o polvo mineral, esta es producida en caliente, aproximadamente a 150°C y compactado entre 130°C a 140°C, en función de la carta viscosidad - temperatura. Medida en peso (kg).

#### **Mezcla Asfáltica Modificada con Polímero SBS:**

Es la mezcla que se realiza con agregados pétreos debidamente calibrados y gradados (dosificado en peso), ligante asfáltico modificado con polímero tipo SBS (dosificado en %) y filler o polvo mineral, esta es producida en caliente, aproximadamente a 165°C y compactado entre 145°C a 155°C, en función de la carta viscosidad - temperatura. Medida en peso (kg).

### **1.7.2. Variables Dependientes**

#### **Variable Dependiente 1. Resistencia a la Deformación Permanente de la Mezcla Asfáltica Convencional:**

Es la resistencia que ofrece un asfalto (convencional) al ahuellamiento de la carpeta de rodadura, que compromete el confort y la seguridad, así como también la calidad de circulación de los usuarios.

#### **Variable Dependiente 2. Resistencia a la Fatiga de la Mezcla Asfáltica Convencional:**

Es la resistencia que ofrece el asfalto (convencional) a las tensiones de tracción por repeticiones excesivas de carga que se dan en la carpeta asfáltica, la falla por fatiga se presenta como fisuras que aparecen en la fibra inferior de la carpeta asfáltica y se propagan a la superficie.

#### **Variable Dependiente 3. Resistencia a la Deformación Permanente de la Mezcla Asfáltica Modificada con polímero SBS:**

Es la resistencia que ofrece un asfalto (modificada por un polímero elastomérico SBS) al ahuellamiento de la carpeta de rodadura, que comprometen el confort y la seguridad, así como también la calidad de circulación de los usuarios.

#### **Variable Dependiente 4. Resistencia a la Fatiga de la Mezcla Asfáltica Modificada con polímero SBS:**



Es la resistencia que ofrece el asfalto (modificada por un polímero elastomérico SBS) a las tensiones de tracción por repeticiones excesivas de carga que se dan en la carpeta asfáltica, esta falla por fatiga se presenta como fisuras que aparecen en la fibra inferior de la carpeta asfáltica y se propagan a la superficie.

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				
VARIABLE	DESCRIPCION DE LA VARIABLE	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>				
V1: Mezcla Asfáltica Convencional.	Mezcla realizada con agregados petreos, ligante asfáltico convencional y filler a 150°C aprox.	la mezcla asfáltica convencional es producida en peso.	mezcla asfáltica en Peso (kg).	Fichas de laboratorio Tablas (contenido de vacios)
V2: Mezcla Asfáltica Modificada con polímero SBS.	Mezcla realizada con agregados petreos, ligante asfáltico modificado con polímero SBS y filler a 165°C aprox.	la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS es producida en peso.	mezcla asfáltica en Peso (kg).	Fichas de laboratorio Tablas (contenido de vacios)
<b>VARIABLES DEPENDIENTES</b>				
V2: Resistencia a la Deformación Permanente de mezcla asfáltica convencional.	Es la resistencia que ofrece una mezcla asfáltica al ahuellamiento de la carpeta de rodadura, que comprometen el confort y la seguridad, así como también la calidad de circulación de los usuarios.	Inicio-0mm en 0 pasadas o ciclos máx. 12.5mm en 20000 pasadas o ciclos	Profundidad de ahuellamiento en mm.	Fichas de laboratorio
V3: Resistencia a la fatiga de mezcla asfáltica convencional.	Es la resistencia que ofrece la mezcla asfáltica a las tensiones de tracción por repeticiones de carga que se dan en la carpeta asfáltica, esta fatiga se presenta como fisuras que aparecen en la fibra inferior de la carpeta asfáltica y se propagan a la superficie	Modulo de rigidez al inicio del ensayo determinado en la UTM - inicia ensayo Modulo de rigidez inicial reducido a la mitad (máx) - fin del ensayo	N° de aplicaciones de carga	Fichas de laboratorio
V4: Resistencia a la Deformación Permanente de mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS.	Es la resistencia que ofrece una mezcla asfáltica al ahuellamiento de la carpeta de rodadura, que comprometen el confort y la seguridad, así como también la calidad de circulación de los usuarios.	Inicio-0mm en 0 pasadas o ciclos máx. 12.5mm en 20000 pasadas o ciclos	Profundidad de ahuellamiento en mm.	Fichas de laboratorio
V5: Resistencia a la fatiga de mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS.	Es la resistencia que ofrece la mezcla asfáltica a las tensiones de tracción por repeticiones de carga que se dan en la carpeta asfáltica, esta fatiga se presenta como fisuras que aparecen en la fibra inferior de la carpeta asfáltica y se propagan a la superficie	Modulo de rigidez al inicio del ensayo determinado en la UTM - inicia ensayo Modulo de rigidez inicial reducido a la mitad (máx) - fin del ensayo	N° de aplicaciones de carga	Fichas de laboratorio

Tabla 1.1: Operacionalización de variables

FUENTE: Propia



## **CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1. Antecedentes de la Tesis**

#### **2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional**

- **“ANÁLISIS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLIMERO”** hecho por **FERNANDO ANDRES WULF RODRIGUEZ**, presenta a **Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2008, Lima –Perú.**

#### **RESUMEN:**

En el presente trabajo de titulación se ejecuta un análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero. Se realiza un estudio de dosificación de concreto asfáltico convencional en caliente y un concreto asfáltico modificado con polímero en caliente, ambos con un tamaño máximo de 20 mm. (3/4”) de los áridos para tránsito pesado. Se describen los procesos de identificación de las muestras, granulometrías, constantes físicas e hídricas, dosificación de los áridos en peso, características de la mezcla, parámetros Marshall y se confecciona la mezcla de trabajo. También se expone el asfalto, los polímeros, los asfaltos modificados con polímero y las capas asfálticas estructurales.

#### **CONCLUSIONES**

De acuerdo con el estudio correspondiente al análisis experimental del uso de Polímeros en el asfalto y en base a los resultados obtenidos, se requiere dar a conocer como conclusiones que a continuación se exponen:

- Las mezclas elaboradas con altas temperaturas presentaron un recubrimiento totalmente adecuado y no se presentó problema alguno, en el mezclado ni en la compactación.
- Al analizar los resultados obtenidos de estabilidad y fluencia queda demostrado que las mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos modificados posee un mejor comportamiento que las



mezclas elaboradas con asfalto convencional, tal como se esperaba, ya que la finalidad de modificar los asfalto es mejorar sus propiedades.

- Los asfaltos modificados con polímeros, tienden a volver a su posición original una vez que se retira el esfuerzo de tensión a que habían sido sometidos.
- Por lo anterior, los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (roderas), pues los asfaltos modificados presentan una mayor recuperación de su forma, por lo tanto, menor deformación permanente de las mezclas que componen las capas de rodamiento.
- Los asfaltos modificados con polímero, tienen una mayor capacidad de mantener su forma bajo las presiones a los cuales son sometidos.
- Como se observó en las pruebas de laboratorio realizadas a ambos materiales, podemos decir que el asfalto modificado con polímero, debido a su alta estabilidad puede ser sometido a una carga máxima mayor que el asfalto tradicional.
- El contenido de huecos de aire ( $V_a$ ) es uno de los parámetro de desempeño más importantes de una mezcla asfáltica. Existe acuerdo en que el rango adecuado de desempeño de una mezcla se consigue para contenidos de vacíos de 4 % a 6 %. Para contenidos de vacíos bajo 4 % la mezcla es muy propensa a exudar y/o ahuellarse. Por otro lado, para contenidos de vacíos superiores a 6 la mezcla puede sufrir excesiva oxidación, agrietamiento prematuro y desintegración. Todos los valores obtenidos para el óptimo están dentro del rango recomendado por el Laboratorio Nacional de Vialidad (4 % - 6 %)
- El V.A.M., o contenido de vacíos en el agregado mineral, es una propiedad que depende del agregado (forma y granulometría) y del contenido asfáltico. Valores de V.A.M. muy bajos puede indicar que en terreno el asfalto no tendrá suficiente espacio y



que por lo tanto podría exudar. Valores de V.A.M. muy altos también es asociado con la ahuellamiento ya que se requiere un mayor contenido asfáltico para cumplir con las especificaciones de diseño. Todos los asfaltos estudiados cumplen con el requisito exigido por la norma, es decir, un V.A.M. mayor a 14 %.

- La densidad es el grado de solidez que se puede alcanzar en una mezcla dada y que sólo está limitado por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la masa, en el asfalto modificado con polímero se alcanza una densidad mayor que en el asfalto convencional, pero aun así está muy por debajo de la densidad máxima de la mezcla (Dmm).
- El ensayo de compresión de probetas no es determinante para el análisis comparativo que se está realizando, debido a que en ambos asfaltos la compresión se produce cuando los áridos se comprimen. ya que una de las principales cualidades del asfalto es que es un pavimento flexible. La carga máxima que soporta el asfalto se mide en el ensaye Marshall, específicamente en la estabilidad.

### 2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

- **“EVALUACION DE MEZCLAS PRODUCIDAS CON LIGANTES ASFALTICOS PERUANOS CONVENCIONAL PEN 60/70 Y MODIFICADOS CON POLIMERO SBS TIPO I E PG 76 – 22”** hecho por **JORGE RODOLFO ESCALANTE ZEGARRA**, presentado en la **Universidad de Sao Paulo, 2007, Sao Paulo – Brasil.**

#### RESUMEN:

Los objetivos de este trabajo son evaluar el comportamiento de asfaltos peruanos CAP PEN 60/70 y modificados por polímero SBS Tipo I 60/60 y PG 76 – 22, en mezclas asfálticas densas, sin y con envejecimiento a corto plazo, y establecer la distribución del Grado de Desempeño (PG) de ligantes asfálticos con base en las condiciones climáticas de cada región del Perú. Para la clasificación por



desempeño los ligantes asfálticos procedentes de Perú fueron sometidos a los ensayos convencionales y de las especificaciones Superpave: penetración, punto de ablandamiento, viscosidad Brookfield, punto de inflamación, retorno elástico, estabilidad para almacenaje, envejecimiento a corto plazo (RTFOT), envejecimiento a largo plazo (PAV), corte dinámico (DSR) y rigidez a fluencia en flexión (BBR). Para la evaluación de las propiedades mecánicas, sin envejecimiento y con envejecimiento en corto plazo, fueron moldados un total de 196 cuerpos de prueba, sometidos a los ensayos Marshall, resistencia a tracción, resistencia a tracción retenida al daño inducido por la humedad, módulo de resiliencia, fluencia por compresión uniaxial estática, fluencia por compresión uniaxial dinámica y vida a fatiga. Los resultados de los ensayos muestran que el proceso de modificación de los asfaltos por polímero mejora las características reológicas del ligante, presentando menor índice de susceptibilidad termina y mayor resistencia al envejecimiento y mejorando el comportamiento de las mezclas asfálticas en todos los ensayos mecánicos. Esos resultados fueron confirmados por el análisis estructural con el programa computacional Elsym5, en las dos condiciones de envejecimiento estudiadas.

## CONCLUSIONES

Siendo los objetivos de este trabajo valorar el comportamiento de las mezclas asfálticas peruanas con CAP PEN 60/70 y AMP Tipo I 60/60, establecer la distribución del grado de desempeño de ligantes asfálticos para las diferentes regiones del Perú y evaluar el comportamiento del AMP producido para el grado de desempeño PG más crítico del estado peruano, concluyendo, en base a los resultados presentados:

**En cuanto al estudio del grado de desempeño de ligantes asfálticos del Perú.**

- Fue establecido el mapa de distribución del PG del ligante asfáltico para las diferentes regiones del Perú el mismo que



debe ser constantemente actualizado con las bases obtenidas de todas las estaciones meteorológicas que permitirá seleccionar el ligante asfáltico más adecuado para cada región de trabajo.

- De la distribución del PG para las diferentes regiones del Perú se concluye que la región de la sierra necesita de un ligante asfáltico con PG 58 -22 y para las regiones de la costa y la selva, de un ligante asfáltico con PG 70 -10, recordando que no son consideradas las velocidades y el volumen del tráfico.
- **“ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS”** hecho por **JORGE ANTONIO RODRIGUEZ CEPEDA**, presentada en la Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolqui, 2014

#### **RESUMEN:**

El propósito principal de la investigación fue modificar el asfalto mediante el uso de aceite crudo de palma (ACP), para fabricar mezclas asfálticas tibias y establecer su desempeño en laboratorio y compararlas con las mezclas asfálticas en caliente. La mezcla utilizada corresponde a las denominadas mezclas de graduación densa, de tamaño máximo nominal del agregado de  $\frac{1}{2}$ ". El trabajo de laboratorio inicio con la caracterización en los materiales a utilizar (asfalto, agregados), continuando con ensayos de caracterización para el asfalto modificado con diferentes porcentajes experimentales de aceite crudo de palma, de esta manera seguir con los ensayos de viscosidad rotacional en el asfalto y el modificado con ACP. A partir de lo anterior se eligió porcentaje que puedan ser los potenciales modificadores para la reducción de las temperaturas de producción de mezclas asfálticas de tal manera seguir con la realización del método Marshall, para las mezclas asfálticas en caliente (MAC) y mezclas asfálticas tibias (MAT) evaluando su comportamiento en cuanto a estabilidad y flujo Marshall. Se determinó a partir del análisis del comportamiento de la MAT, el porcentaje óptimo de ACP y el contenido óptimo para fabricar mezclas





tibias. Del análisis de los resultados se estableció que el ACP utilizado reduce la viscosidad del asfalto y por ende las temperaturas de mezcla y compactación. El desempeño estudiado en las mezclas asfálticas con asfalto modificado con ACP, son similares a las mezclas convencionales, estableciendo la viabilidad para su aplicación y uso.

## CONCLUSIONES

### Asfalto Modificado:

#### Viscosidad.

- Se disminuye la temperatura de mezcla en 7°C a una dosificación al peso de 1% de ACP, consiguiendo de esta manera obtener una mezcla asfáltica tibia, considerando como mezcla tibia a cualquiera de las tecnologías o procedimientos que disminuyan las temperaturas de producción de una mezcla.
- El incremento del contenido de ACP genera un incremento de la variación de la viscosidad, pero a menores temperaturas, a partir de ello se puede considerar como porcentaje óptimo al 1% para evitar a bajas temperaturas se produzca ahuellamiento de la capa de rodadura por la baja consistencia del asfalto, de manera que el 2% disminuye en exceso la viscosidad lo cual puede ser contraproducente.
- A menores temperaturas el potencial reductor del ACP es mucho mayor que a las altas temperaturas, esto puede ocurrir debido a que el punto de fusión del ACP es bajo (alrededor de 30-40°C) y esto genera que el asfalto tenga más contenido de resina y aceites lo cual lo hace más blando y que para lo cual a temperaturas de servicio el asfalto puede ser deformable en mayor manera. A altas temperaturas se concluye que su influencia es menor y a medida que aumentemos el contenido de ACP al final su comportamiento va a ser similar.
- El asfalto AC-20 que se ha mostrado para el estudio, cumple las especificaciones estipuladas en el NEVI – 12 de acuerdo a



- todos los parámetros analizados de manera que se lo considera apto para ser modificado.
- Se ha obtenido el asfalto modificado con ACP y se ha elegido los porcentajes de ACP óptimos que cumplan la mayoría de las especificaciones como se puede ver, que para el 1% de ACP el asfalto no cumple en el ensayo de reblandecimiento y el índice de penetración y para el 2% no cumple en cuanto a la penetración y reblandecimiento con lo cual el porcentaje óptimo queda regido por los parámetros a evaluarse en el diseño Marshall.
  - El ACP tiene bajo punto de fusión es decir de pasar de estado sólido a líquido a una baja temperatura, debido a esto a medida que se incrementa el porcentaje de adición del aditivo se evidencia en los ensayos de penetración que a 25°C se incrementa la penetración, lo cual no debería ser así ya que a temperaturas de servicio debería brindar el aditivo rigidez al asfalto.
- **“CARACTERIZACION DE ASFALTOS CONVENCIONALES, MODIFICADOS Y SELLADORES”** hecho por GISELA ALEJANDRA CATRIEL, presentado a la Universidad Tecnológica Nacional, 2011, La Plata – Argentina.

#### RESUMEN:

La presente tesis se fundamenta en que la Regional Santa Fe, no cuenta con el equipo para envejecimiento prematuro para realizar el ensayo a los ligantes que están estudiando. A pesar de ello, la interacción entre los laboratorios es fluida por lo cual el desarrollo del proyecto es factible, ya que en el LEMaC cuenta con el equipo.

Para poder entrenar a un becario en este equipo, ha surgido esta tesis que incluye no solo el ensayo sino el conocimiento de los asfaltos convencionales, modificados y los selladores.

Se ha encarado la tesis con una base bibliográfica sobre cada uno de los productos en estudio para luego realizar los ensayos



característicos y luego centrarse en el ensayo específico de envejecimiento.

### CONCLUSIONES:

- Hemos analizado las características de los asfaltos convencionales, modificados y selladores, centrándonos particularmente en el “Ensayo de calentamiento en la película delgada rotativa – Ensayo RTFOT”, IRAM 6839. El asfalto debe ser caracterizado antes y después de someterlo al efecto de calor y aire, para verificar si luego del ensayo sus propiedades se vieron modificadas, aquí solo evaluamos la pérdida de masa, dejando la restante caracterización a la Regional Santa Fe.
  - Hemos observado que 4 de las 7 muestras durante el ensayo presentaron una disminución de la masa, esto se produce porque se evaporaron componentes volátiles.
  - Las 3 restantes durante el ensayo presentaron un incremento de la masa, esto se produce porque el oxígeno reacciona con la muestra.
  - Los efectos combinados determinan si la muestra ha tenido una masa ganada global o una masa perdida global. Las muestras con un muy bajo porcentaje de componentes volátiles comúnmente exhiben un incremento de masa, mientras que las muestras con alto porcentaje de componentes volátiles comúnmente exhiben una pérdida de masa.
- **“DEFORMACION PERMANENTE DE MEZCLAS ASFALTICAS”** hecho por **MARINA CAUHAPÉ CASAUX**, presentado a **Universidad Nacional de Rosario, Rosario – Argentina.**

### RESUMEN

Los tipos más frecuentes de fallas asociados a la aplicación reiterada de las cargas del tránsito para un pavimento flexible, son



la fisuración de las capas asfálticas y la acumulación de deformaciones permanentes en todas las capas componentes de la estructura y en el suelo de fundación. Las deformaciones plásticas conducen a la formación de ahuellamientos que comprometen el confort y la seguridad, y en consecuencia, la calidad de la circulación de los usuarios.

Al respecto, el diseño estructural de los pavimentos se ha orientado a establecer valores límites de las tensiones y deformaciones con el objeto de valorar el periodo de tiempo para el que, bajo determinadas condiciones de sollicitación, resultaran profundidades de huellas compatibles para un nivel de servicio esperado o proyectado. Con este objetivo los métodos de diseño actuales deben adoptar criterios de falla.

Estos criterios de falla se pueden obtener a través de distintos mecanismos como ensayos de laboratorio, pistas de ensayo o análisis de datos actuales deben adoptar criterios de falla.

Estos criterios de falla se pueden obtener a través de distintos mecanismos como ensayos de laboratorio, pistas de ensayo o análisis de datos de rutas reales conseguidos por mediciones periódicas.

En el presente trabajo se describen un estado del arte de la forma de estimar el comportamiento a la deformación plástica de las mezclas asfálticas. Su objetivo es comparar distintos criterios de falla por ahuellamiento o deformación permanente determinados a través de distintos ensayos, así como en qué estado se encuentra el tema en Argentina.

### **CONCLUSIONES:**

- En el presente reporte técnico se ha realizado un enfoque de los principales conceptos que rigen el comportamiento de la deformación plástica de las mezclas asfálticas, así como la descripción de las principales técnicas experimentales que se usan a nivel internacional y nacional.



- Se ha hecho el análisis comparativo de las normas española, británica y europea para llevar a cabo el ensayo de pista con rueda cargada en laboratorio o Load Wheel Tracking Test, señalando las principales diferencias en las características de los equipos usados, las propiedades físicas de las muestras, forma de fabricación de las mismas, formas de sollicitación (carga y temperatura) y análisis de resultados.
- Se presentan algunos de los principales resultados publicados así como los avances realizados en nuestro país por los laboratorios de ensayos viales LEMIT, REPSOL - YPF y propios.
- Se presenta el equipo de Wheel Tracking Test desarrollado, construido y puesto a punto en el laboratorio vial del IMAE, así como los primeros resultados obtenidos.
- Se consideran que siendo este el tercer equipo en funcionamiento en el país, su aporte al laboratorio vial del IMAE va a repercutir positivamente en la investigación del comportamiento de las mezclas asfálticas, la transferencia de tecnología al medio y en la docencia tanto de grado como post grado.

## **2.2. Bases Teórico – Científicas**

### **2.2.1. Agregado**

Material de carácter pétreo o no, de naturaleza inerte, proveniente de la desintegración natural o artificial de la roca madre.

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa del material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una adecuada adherencia.



Para efecto de las presentes especificaciones, se denominará agregado grueso a la porción de agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (N° 4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75  $\mu\text{m}$  (N.° 4 y N.° 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N.° 200).

El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto. Sus requisitos básicos de calidad se presentan en cada especificación.

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente.

El polvo mineral o llenante provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos o podrá ser de aporte de productos comerciales, generalmente cal hidratada o cemento portland. Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico. Su peso unitario aparente, determinado por la norma de ensayo MTC E 205, deberá encontrarse entre 0,5 y 0,8 g/cm<sup>3</sup> y su coeficiente de emulsibilidad (NLT 180) deberá ser inferior a 0,6.

La mezcla de los agregados grueso y fino y el polvo mineral deberá ajustarse a las exigencias de la respectiva especificación, en cuanto a su granulometría. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Los agregados pueden ser clasificados de 3 formas: Según su naturaleza, tamaño y granulometría.

- **Naturaleza**

**Agregado Natural:** constituidos por piedras provenientes de la alteración de las rocas por los procesos de intemperismo o producidos por desgaste: canto rodado, guijarros, britas, arenas, etc. (Escalante, 2007).



**Agregado Artificial:** Productos o subproductos de un proceso industrial por transformación física y química del material: escoria de alto horno, arcilla calcinada, arcilla expandida. (Escalante, 2007).

- **Tamaño**

**Agregado Grueso:** Es el material retenido en la malla n° 4 (4.75 mm): britas, grava, guijarros, etc. (Escalante, 2007).

**Agregado Fino:** Material que pasa en la malla n° 4 (4.75 mm) y queda retenido en la malla n° 200 (0.075 mm): polvo de piedra, arena, etc. (Escalante, 2007).

**Filler (material de relleno):** Es el material que pasa por lo menos el 65% en la malla n° 200 (0.075 mm): cal extinta, cemento portland, polvo de chimenea, etc. (Escalante, 2007).

- **Granulometría:**

**Agregado de granulometría densa:** Presenta una curva granulométrica continua representativa de material bien graduado y con cantidad de material fino suficiente para rellenar los vacíos entre las partículas mayores. (Escalante, 2007).

**Agregado de granulometría abierta:** Presenta una curva granulométrica, e material mal graduado, con insuficiencia de material fino, para rellenar los vacíos entre las partículas mayores. (Escalante, 2007).

### 2.2.2. Materiales Bituminosos:

Se define como betún o una mezcla de hidrocarburos pesados, obtenidos en estado natural o por diferentes procesos físicos o químicos, con sus derivados de consistencia variable y con poder aglutinante e impermeabilizante, siendo completamente soluble en el bisulfato de carbono CS<sub>2</sub> (*American Society for Testing and Materials – ASTM*).

Actualmente, la mayor parte del asfalto producido y empleado en el mundo es extraído del petróleo, del cual es obtenido, ausente de impurezas,

siendo casi completamente soluble en bisulfato de carbono o tetracloruro de carbono (IBP, 1994).

### **CEMENTOS ASFALTICOS DE PETROLEO:**

Los cementos asfálticos son obtenidos por el proceso de destilación del petróleo crudo a través de diferentes técnicas de refinación. A la temperatura ambiente, el cemento asfáltico es un semisólido oscuro, pegajoso y un material altamente viscoso. Es durable y tiene excelentes características impermeables y de adhesividad, siendo altamente resistente a la acción de la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. El mayor uso de los cementos asfálticos es en las mezclas asfálticas para pavimentación (Roberts *et al.*, 1991).

El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la Tabla 2.1, según lo establecido en Proyecto y aprobado por el Supervisor. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

*Tabla 2.1 – Selección del tipo de cemento asfáltico.*

FUENTE: Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

Los requisitos de calidad del cemento asfáltico son los que establecen las Tablas 2.2 y 2.3.

El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de 175°C.

El cemento asfáltico podrá modificarse mediante la inclusión de aditivos de diferente naturaleza tales como: rejuvenecedores, polímeros, o cualquier otro producto garantizado, con los ensayos correspondientes.



En tales casos, las especificaciones particulares establecerán el tipo de aditivo y las especificaciones que deberán cumplir tanto el cemento asfáltico modificado como las mezclas asfálticas resultantes, que serán aprobadas por el Supervisor, al igual que la dosificación y dispersión homogénea del aditivo incorporado. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Pruebas sobre el Material Bituminoso											
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) <sup>(1)</sup>	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oliensies) <sup>(2)</sup>											
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm <sup>(3)</sup>	MTC E 306			50		75		100		100	

(1), (2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado.

(3) Si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.

Tabla 2.2– Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.

FUENTE: Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013).

Características	Grado de Viscosidad				
	AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1.000±200	2.000±400	4.000±800
Viscosidad Cinemática, 135°C St mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100gr, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
➤ Viscosidad Absoluta, 60°C, Poises máximo	1.250	2.500	5.000	10.000	20.000
➤ Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (Oliensies) <sup>(1)</sup>					
Solvente Nafta – Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

(1) Porcentajes de solvente a usar, se determinara si el resultado del ensayo indica positivo.

Fuente: ASTM D 3381, NTP

Tabla 2.3– Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad.

FUENTE: Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013).

	PG 46			PG 52						PG 58					PG 64						
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C <sup>a</sup>	<46			<52						<58					<64						
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C <sup>b</sup>	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
<b>Asfalto original</b>																					
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																				
Viscosidad, T 316: <sup>b</sup> máximo 3 Pa s, temp de prueba, °C	135																				
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: <sup>c</sup> G*/senS, <sup>d</sup> mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58					64						
<b>Película delgada en horno rotativo (T 240)</b>																					
Cambio de masa, <sup>e</sup> máximo, %	1.00																				
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G*/senS, <sup>d</sup> mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58					64						
<b>Residuo en cámara de presión (R 28)</b>																					
Temperatura de curado PAV, °C <sup>f</sup>	90			90						100					100						
Esfuerzo cortante dinámico G* senS, <sup>d</sup> máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Resistencia al deslizamiento, T 313 : <sup>g</sup> S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0,300 temp de prueba @ 60 s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Tensión Directa, T 314: <sup>h</sup> Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

<sup>a</sup> La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 323 and R 35.  
<sup>b</sup> Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad.  
<sup>c</sup> Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G\*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.  
<sup>d</sup> G\*/senS = Resistencia a alta temperatura y G\* senS = Resistencia a temperatura intermedia.  
<sup>e</sup> El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa).  
<sup>f</sup> La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C.  
<sup>g</sup> Si la Resistencia al deslizamiento es inferior a 300 MPa, la prueba de tensión directa no es necesaria. Si la resistencia al deslizamiento se encuentra entre 300 y 600 MPa puede usarse el requerimiento de la deformación unitaria a la falla por tensión directa, en lugar del requerimiento de la resistencia al deslizamiento. En ambos casos debe satisfacerse el requerimiento del valor-m.

Tabla 2.4 – Clasificación de Ligantes Asfálticos de acuerdo a Performance Grade (PG).

FUENTE: Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013).

	PG 70						PG 76					PG 82				
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C <sup>a</sup>	<70						<76					<82				
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C <sup>b</sup>	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34
<b>Asfalto original</b>																
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230															
Viscosidad, T 316: <sup>b</sup> máximo 3 Pa s, temp de prueba, °C	135															
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: <sup>c</sup> G*/senS, <sup>d</sup> mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76					82				
<b>Película delgada en horno rotativo (T 240)</b>																
Cambio de masa, <sup>e</sup> máximo, %	1.00															
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G*/senS, <sup>d</sup> mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76					82				
<b>Residuo en cámara de presión (R 28)</b>																
Temperatura de curado PAV, °C <sup>f</sup>	100 (110)						100(110)					100 (110)				
Esfuerzo cortante dinámico G* senS, <sup>d</sup> máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Resistencia al deslizamiento, T 313 : <sup>g</sup> S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0,300 temp de prueba @ 60 s, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24
Tensión Directa, T 314: <sup>h</sup> Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	0		-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24

<sup>a</sup> La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 323 and R 35.  
<sup>b</sup> Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad.  
<sup>c</sup> Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G\*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.  
<sup>d</sup> G\*/senS = Resistencia a alta temperatura y G\* senS = Resistencia a temperatura intermedia.  
<sup>e</sup> El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa).  
<sup>f</sup> La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C.  
<sup>g</sup> Si la Resistencia al deslizamiento es inferior a 300 MPa, la prueba de tensión directa no es necesaria. Si la resistencia al deslizamiento se encuentra entre 300 y 600 MPa puede usarse el requerimiento de la deformación unitaria a la falla por tensión directa, en lugar del requerimiento de la resistencia al deslizamiento. En ambos casos debe satisfacerse el requerimiento del valor-m.

Tabla 2.5 - Clasificación de Ligantes Asfálticos de acuerdo a Performance Grade (PG) (continuación).



FUENTE: Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013).

Leitte (1999), indica que Samanos definió al cemento asfáltico de petróleo como un adhesivo termoplástico, impermeable al agua, viscoelástico y poco reactivo, que:

- Por el comportamiento termoplástico, posibilita el propio manejo en caliente, para la aplicación en pavimentos y, por simple enfriamiento, el retorno a sus propiedades viscoelásticas correspondientes a las condiciones de servicio (Escalante, 2007).
- Siendo usado en la impermeabilización de la estructura del pavimento, evita la penetración del agua de lluvia, produciendo escorrentía superficial para los canales de drenaje (Escalante, 2007).
- Tiene en la viscoelasticidad la base del comportamiento mecánico que ejerce sobre la estructura del pavimento. Con esa propiedad indica, el Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP) combina dos comportamientos distintos: el elástico, sobre aplicación de carga de corta duración (tráfico rápido), y el viscoso, sobre largos periodos de aplicación de carga.
- Tiene buena durabilidad, debido a la poca reactividad química. El contacto con el aire propicia oxidación lenta, que puede ser acelerada por el aumento de temperatura. (Escalante, 2007).

### **2.2.3. Composición Química del Asfalto:**

Existe una gran dificultad en definir la composición química de los asfaltos debido a la dificultad de caracterización de todas las sustancias que lo componen, algunas aún desconocidas.

La proporción aproximada de sus principales componentes, de acuerdo al origen de los crudos de la cual proviene el asfalto son:

- Carbono (82 a 87%).
- Hidrogeno (9 a 11%).
- Nitrógeno (0.2 a 1.2 %).
- Azufre (0.9 a 5.3%).
- Oxígeno (0.2 a 0.8%).

- Vanadio (4 a 1400 ppm).
- Níquel (0.4 a 110 ppm).

El fraccionamiento químico separa el CAP en compuestos saturados, nafta – aromáticos, polaromaticos y asfáltenos (insolubles en n-heptano). Los asfáltenos se separan primero, con adición de n-heptano. Los otros constituyentes, denominados máltenos solubles en n-heptano, son separados por cromatografía de adsorción. Los asfáltenos son aglomerados de compuestos polares y polarizables, formados en consecuencia de asociaciones intermoleculares. Son considerados responsables por el comportamiento reologico de los CAP y constituidos de hidrocarburos naftenicos condensados y de cadenas cortas de saturados. (Leitte y Bittencourt, 2004).

**2.2.4. Temperatura de aplicación del material bituminoso:**

El material bituminoso a utilizar en los diferentes trabajos según la especificación respectiva será obligatoriamente aplicado dentro de los rangos de la carta viscosidad-temperatura (ASTM D341) establecidos en el proyecto y aprobado por el Supervisor. Se observará los rangos de temperatura de aplicación establecidos en la Tabla 2.4 (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Tipo y Grado del Asfalto	Temperaturas de Esparcido <sup>(1)</sup>		Temperaturas de Mezclado en Planta <sup>(2)</sup>	
	Mezclas in situ	Tratamientos superficiales	Mezclas Densas	Mezclas Abiertas
Asfaltos Diluidos				
MC-30	--	30	--	--
RC-70 o MC-70	20	50	--	--
RC-250 o MC-250	40	75	55-80	--
RC-800 o NC-800	55	95	75-100	--
Emulsiones Asfálticas				
CRS-1	--	50-85	--	--
CRS-2	--	50-85	--	--
CMS-2	20-70	--	10-70	--
CMS-2h, CSS-1, CSS-1h	20-70	--	10-70	--
Cemento Asfáltico	140 máx (4)		140 máx (4)	
Todos los grados	140 máx (4)		140 máx (4)	

(1) Temperatura de mezcla inmediatamente después de preparada.  
 (2) La Máxima temperatura deberá estar debajo de aquella en la que ocurre vapores o espuma  
 (3) En algunos casos la temperatura de aplicación puede estar por encima del punto de inflamación. Por tanto se debe tener precaución para prevenir fuego o explosiones.  
 (4) Se podrá variar esta temperatura de acuerdo a la carta de viscosidad-temperatura  
 Fuente: MS-16-Asphalt Institute

*Tabla 2.6– Rangos de Temperatura de aplicación.*

FUENTE: Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013).

## RELACIÓN ENTRE COMPOSICIÓN QUÍMICA Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFÁLTO.

Según Corbett (1978 *apud* LEITTE, 1999), los componentes del CAP tienen las siguientes propiedades:

- *Saturados*: Tienen influencia negativa en la susceptibilidad térmica. En mayor concentración ablandan el producto.
- *Aromáticos*: Actúan como plastificantes, contribuyendo para la mejora de sus propiedades físicas.
- *Resinas*: Tienen influencia negativa en la susceptibilidad térmica, pero contribuyen en la mejora de la ductilidad y dispersión de los asfáltenos.
- *Asfáltenos*: Contribuyen para la mejoría de la susceptibilidad térmica y aumento de la viscosidad.

A pesar de que la composición química y la estructura coloidal sean solamente auxiliares en la explicación de algunos fenómenos del comportamiento del CAP como ligante asfáltico, los parámetros reológicos de CAP obtenidos a través de viscosímetros y reómetros de cizallamiento dinámico presentan correlación con los ensayos de desempeño de mezclas bituminosas (Leitte, 1999).

### 2.2.5. Envejecimiento

El envejecimiento del ligante asfáltico puede ser definido como el proceso que sufre el cemento asfáltico durante la producción, aplicación y vida en servicio, responsable de la alteración de sus características físicas, químicas y reológicas que causan un aumento en su consistencia. (Escalante, 2007).

Según Leitte (1999), cuatro son los mecanismos principales que explican el endurecimiento o envejecimiento del asfalto, los cuales son: oxidación, pérdida de volátiles, endurecimiento físico y endurecimiento exudativo.

La oxidación es la más importante causa del endurecimiento. Durante la producción, la alta temperatura empleada y la presencia del aire tornan la oxidación violenta. Los grupos polares oxigenados tienden a asociarse, formando miscelas de alto peso molecular y mayor viscosidad. A pesar de que el almacenamiento del CAP se realice también a altas temperaturas,



la oxidación del CAP en tanques es minimizada por la pequeña superficie expuesta al aire. (Escalante, 2007).

El endurecimiento resultante de la pérdida de volátiles es bajo, teniendo en vista que los cementos asfálticos de petróleo no son volátiles.

El endurecimiento exudativo resulta del movimiento de componentes oleosos de ligante para el agregado mineral.

La primera alteración de la estructura química del CAP después de su producción ocurre durante la producción en planta, esparcimiento y compactación de la mezcla bituminosa y después ocurre una evolución más lenta, durante la vida en servicio. (Escalante, 2007).

Según Bicheron (1986 *apud* LEITTE, 1999), el proceso de oxidación es descrito por las siguientes modificaciones en la composición química del CAP.

- Inercia química de los saturados, cuyo contenido se mantiene prácticamente inalterado.
- Oxidación parcial de los aromáticos que se transforman en resinas.
- Oxidación de las fracciones más pesadas de las resinas que se transforman en asfáltenos.
- Una parte de los propios asfáltenos se oxida, modificando su comportamiento.

#### **2.2.6. Ligantes Asfálticos**

##### **LIGANTE ASFALTICO CONVENCIONALES:**

Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría de los crudos de petróleo.

##### **LIGANTE ASFALTICO MODIFICADO POR POLIMERO:**

Los ligantes asfálticos tienen una gran importancia en muchos aspectos del desempeño de una carretera, soportando las cargas del tráfico bajo diferentes condiciones climáticas. (Escalante, 2007).

Así, una mezcla asfáltica necesita ser flexible en temperaturas de servicio bajas, para prevenir las grietas térmicas en el pavimento, y suficientemente rígida a temperaturas altas de servicio, para prevenir las





deformaciones permanentes. No siempre las mezclas asfálticas producidas con asfalto convencional presentan las propiedades deseables, habiendo una búsqueda constante de nuevos materiales, que mejoren el desempeño de los pavimentos asfálticos, como, por ejemplo los asfaltos modificados por polímeros. (Escalante, 2007).

Los asfaltos modificados por polímeros son obtenidos a partir de la incorporación de polímero al CAP, en la proporción apropiada, pudiendo o no incluir reacción química. Los ligantes asfálticos que se prestan a la modificación son aquellos que presentan compatibilidad con el polímero a ser empleado. Un buen asfalto modificado debe presentar el polímero y el asfalto “entrelazados”, formando dos fases continuas, uno impregnado al otro. En caso de que la mezcla sea realizada de forma adecuada, o el polímero y el polímero no sean químicamente compatibles, se forman dos fases con predominio de una sobre otra. En ambos casos, las propiedades del asfalto modificado no serán adecuadas para su utilización. (Escalante, 2007).

Según Leite y Soares (1997), la modificación de ligantes asfálticos por la introducción de polímeros es empleada hace más de 30 años en países desarrollados apuntando a mejorar la resistencia a la fatiga y a la deformación permanente de los pavimentos. Es por esto que la utilización de este tipo de producto no llega a quince por ciento del mercado americano y europeo de ligantes asfálticos debido al precio elevado. Su uso se destina a nuevos tipos de aplicaciones, tales como asfaltos drenantes, concretos asfálticos de alto módulo, micro revestimiento, membranas anti fisuras, etc.

Por esto, según Yildirim (2005), la modificación con polímero se incrementó en las últimas diez décadas, tornándose como una norma en los proyectos de pavimentos de alto desempeño, particularmente en los Estados Unidos, Canadá, Europa y Australia.

### **2.2.7. Polímeros**

Los polímeros son sustancias macromoleculares, o sea, que contienen centenas o millares de átomos que pueden ser extraídas de la naturaleza (madera, oleo lubricante, corteza, etc.) o pueden ser obtenidas



artificialmente, por la unión en red o estructura de red de pequeñas moléculas, llamadas monómeros. (Escalante, 2007).

La clasificación de los polímeros puede ser hecha en cuatro categorías: plásticos, elastómeros, fibras y aditivos. Los plásticos son divididos en termoplásticos y termorrígidos, en cuanto a los elastómeros se sub dividen en caucho natural y sintético. (Isacsson & Lu, 1995).

#### **2.2.7.1. Polímeros Elastómeros**

Son aquellos que cuando calentados, se descomponen antes de ablandarse. Presentan propiedades elásticas que se parecen a las del caucho. Por ejemplo: *styrene butadiene rubber* (SBR), *styrene butadiene styrene* (SBS). (Escalante, 2007).

##### **ELASTOMERO – TERMOPLASTICO**

Son aquellos que, en altas temperaturas, se comportan como termoplásticos, o sea, se ablandan cuando son calentados y se endurecen cuando se enfrían, pero en menores temperaturas presentan propiedades elásticas. Por ejemplo: *styrene butadiene styrene* (SBS). (Escalante, 2007).

##### **POLIMEROS SBS:**

SBS es un copolimero elastomérico termoplástico con cadenas intermediarias de poli butadieno y cadenas terminales de poli estireno, constituyendo así bloques de polímeros incompatibles (poli estireno termoplástico y poli butadieno elastomérico). El sistema SBS tiene dos fases a temperatura ambiente (poli butadieno que presenta temperatura de transición vítrea de  $-90^{\circ}\text{C}$  y el poli estireno de  $100^{\circ}\text{C}$ ). A medida que la temperatura se eleva, los dominios se dispersan, los bloques terminales no se arreglan más al dominio y el SBS se comporta como un cuerpo plástico. El fenómeno de comportamiento plástico a alta temperatura y elástico a baja temperatura es totalmente reversible. (Leitte & Soares, 1997).

Según Ceratti (1996), el polímero SBS presenta fuerte interacción con la base bituminosa por ser compatible con sus componentes aromáticos y no aromáticos. Cuando el polímero es dispersado en el asfalto caliente, los dominios de poli estireno se disuelven, asumiendo características termoplásticas, que facilitan las operaciones de mezcla





y compactación. En cuanto al enfriamiento, los bloques de poli estireno se reasocian formando una red tridimensional dispersa en una matriz de poli butadieno, dándole propiedades de resistencia y elasticidad a la mezcla.

Según Ramos (1996), el polímero SBS, por ser termoplástico, permite que el cemento asfáltico a altas temperaturas pueda fluir, debido a la fusión de los dominios de estireno, y a bajas temperaturas impide que el cemento asfáltico se torne quebradizo, debido a la presencia de los dominios de butadienos. En las temperaturas más altas de trabajo del pavimento, el cemento asfáltico se torna excesivamente fluido, a pesar de que los dominios de estireno permanecen, aun, solidos. Como el cemento asfáltico queda envuelto por la malla de SBS, el nuevo ligante trabaja, en esas condiciones, como un caucho vulcanizado, tornándose fluido en temperaturas más elevadas de las alcanzadas por el pavimento.

Según Leal (1999), con la elevación del punto de ablandamiento y, al mismo tiempo, con la disminución del punto de ruptura Fraass del CAP, a presencia del elastómero termoplástico SBS en el CAP aumenta bastante su intervalo de plasticidad (punto de ablandamiento reducido o punto de ruptura Fraass), el que significa una considerable mejoría de su susceptibilidad térmica, que mide la influencia de las variaciones de temperatura en la resistencia del asfalto, que es la cualidad más solicitada en aditivos para el CAP.

En estudios realizados con asfaltos modificados por polímeros SBS, se observó que el polímero SBS hizo aumentar la elasticidad de los asfaltos en altas temperaturas y primo la flexibilidad de los mismos a bajas temperaturas, o sea, contribuyen para un aumento en la resistencia a las deformaciones permanentes en las superficies de rodadura y al agrietamiento, en las altas y bajas temperaturas, respectivamente. (Lu & Isacsson, 1997).

Según Becker (2001), probablemente el SBS es el polímero más apropiado para la modificación del asfalto, a pesar que la adición de SBS, tipo copolimero, en bloque tenga limitaciones económicas. De

cualquier forma, el SBS es el polímero más usado para modificar asfaltos, seguido por el caucho de neumático reciclado.

#### **2.2.7.2. Polímeros Termoplásticos**

Son aquellos que después de formados por la acción del calor, se ablandan de forma reversible, siendo posible moldarlos nuevamente. En otras palabras, se ablandan cuando se calientan y se endurecen cuando se enfrían. Por ejemplo: etileno – acetato de vinilo (EVA) polietileno, polipropileno atático, policloreto de vinilo. (Escalante, 2007).

#### **2.2.7.3. Polímeros Termorrigidos**

Son aquellos que, después de formados por la acción del calor, endurecen ofreciendo a su estructura un carácter de rigidez irreversible. Al ser calentados nuevamente, no se deforman más, imposibilitando su remoldaje. Por ejemplo: resina epoxica, poliuretano. (Escalante, 2007).

#### **2.2.8. Ventajas técnicas de los Asfaltos modificados por Polímeros**

Según Reis (2002), las ventajas técnicas de los asfaltos modificados por polímeros, son:

- Disminución de la susceptibilidad térmica (la consistencia del asfalto modificado permanece inalterada bajo una amplia variación de temperaturas. En clima frío, su carácter flexible aumenta la resistencia a las grietas y fisuras en la superficie del pavimento. En clima caliente, el incremento del punto de ablandamiento y de la viscosidad del ligante reduce el peligro de exudación, en base a las superficies de rodadura y pérdida de la macro textura del revestimiento).
- Mejor característica adhesiva y cohesiva (aumenta la resistencia a la disgregación del pavimento. La resistencia cohesiva hace que el ligante asfáltico mantenga los agregados unidos, cuando sujetos a la acción de las cargas del tráfico, en especial en las bajas temperaturas).
- Mayor resistencia al envejecimiento (aumenta la vida útil del ligante).

- Evaluación del punto de ablandamiento – PA (disminuye la deformación permanente).
- Disminución del punto de ruptura Fraass – PF, temperatura en que el asfalto sufre agrietamiento cuando es sometido a tensión (disminuye el agrietamiento térmico).
- Aumento del índice de plasticidad, banda de temperaturas en la cual el asfalto puede ser utilizado (consecuencia del punto de ablandamiento elevado y punto de ruptura Fraass baja).
- Mayor resistencia a la deformación permanente (aumento de elasticidad).
- Excelente comportamiento reológico (la resistencia a la fluencia y/o buena recuperación elástica del ligante modificado, bajo tensiones de tracción, mantiene la integridad del revestimiento, cuando está sujeto a niveles elevados de carga y dislocamiento).

### 2.2.9. Proceso de incorporación y mecanismo de modificación del asfalto con polímero SBS

El proceso de incorporación de SBS en el asfalto requiere que el CAP utilizado como materia prima tenga una relación asfaltenos/aromáticos dentro de un determinado rango, visualizada en la Figura 2.1, a modo de asegurar compatibilidad o estabilidad al almacenar el producto final (Whiteoak, 1990)

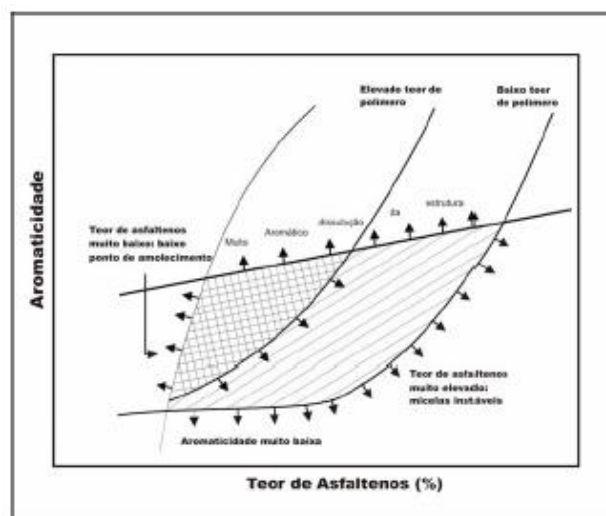


Figura 2.1 – Influencia de la composición química del CAP en la compatibilidad de asfaltos modificados por SBS.

FUENTE: WHITEOAK (1990)

La adición de compatibilizantes a la mezcla de CAP y SBS altera la relación asfaltenos/aromáticos y la viscosidad de la mezcla, tomando una mezcla compatible y con consistencia adecuada para proporcionar a la mezcla final propiedades reológicas muy superiores a las del CAP. Esos compatibilizantes son diluyentes aromáticos oriundos de unidades de producción de lubricantes, unidades de agrietamiento catalítico o de unidades de destilación al vacío de aceite de esquisto.

Las condiciones de operación de preparación dependen de la granulometría del SBS, del contenido de SBS, del tiempo de residencia, de la velocidad de agitación y de la temperatura. Empleese preferentemente, agitación con alto cizallamiento, SBS en granos, atmosfera inerte, temperatura y tiempo suficiente para conferir incorporación del polímero, resistencia al envejecimiento, mejoría de propiedades reológicas y compatibilidad. (Bouldin & Collins, 1990).

La adición de polímero al CAP no mejora sus propiedades reológicas linealmente. La alteración del punto de ablandamiento del asfalto modificado con el contenido de polímero puede ser visualizado en la Figura 2.2 presentada por Leite y Soares (1997). Existe una zona de 4 a 7% para la fase cuya matriz es el SBS (mayor 7%). El cambio de la microestructura es la responsable por las alteraciones reológicas no lineales introducidas por adición creciente de SBS.

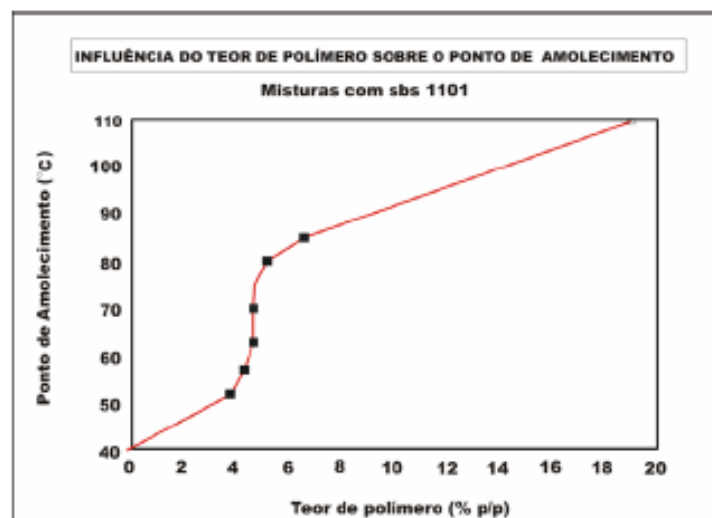


Figura 2.2 Alteración del punto de ablandamiento del asfalto modificado con el contenido de polímero.

FUENTE: Leitte y Soares 1997.

La modificación de las propiedades del asfalto por la adición del polímero es explicada por la hinchazón del polímero en los máltenos del CAP. Se tienen dos fases dentro del asfalto modificado en la escala micro:

- Fase rica en polímeros, que contienen polímero y parte de los máltenos absorbidos por el polímero.
- Fase rica en asfáltenos, que consiste de todos los componentes del CAP, particularmente los asfáltenos, que no son absorbidos por el polímero.

El hinchazón trae consigo aumento de viscosidad y desarrolla un carácter de gel en el ligante, tornándolo más elástico y resistente al estiramiento. La tasa de hinchamiento depende del modo de preparación de la mezcla. El aumento de la temperatura aumenta la poli dispersión, mas puede degradar el polímero. Los agitadores armados de rotor/estator resultan en mezcladores mejores que los de hélice. (Escalante, 2007).

Con relación a los volúmenes de las dos fases, se puede afirmar que el SBS y co polimeros de etileno pueden absorber hasta nueve veces su propio peso los componentes del CAP, significando una extensión del volumen de 900% más la capacidad de absorción reduce con aumento de la concentración de polímero. (Escalante, 2007).

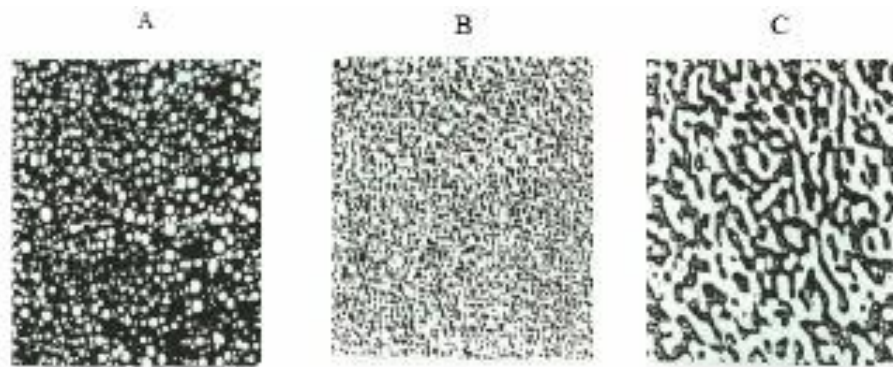
Leitte (1999), presenta la observación de la estructura de una serie de asfaltos modificados con SBS y co polimeros de etileno, con contenido creciente de polímero, en el microscopio de reflexión de fluorescencia, que revelo los siguientes hechos, conforme a la Figura 2.3:

- Bajos contenidos de polímero (debajo del 3%): presentan fase asfáltica continua, que presenta mayor contenido de asfalto que de polímero, en esa situación las propiedades de la mezcla son modificadas principalmente por el aumento del contenido de asfáltenos en la fase asfáltica. (Figura 2.3 – A).
- Contenidos de polímero 3% - 6%: se observa una fase polimérica co – continua, con polímero disperso formando una red tridimensional de redes asfálticas y poliméricas totalmente entrelazadas, este es el caso de la presente investigación, ya

que nuestro ligante cuenta con un contenido aproximado de 4% de polímero (Figura 2.3 – B).

- Altos contenidos de polímeros (encima de 6%): presentan fase polimérica continua, donde el comportamiento del ligante es más polimérico que asfáltico, debido a su alto contenido de polímero en su configuración, contando con la fase rica en asfáltenos dispersa (Figura 2.3 – C). (WORLD ROAD ASSOCIATION, 1998, *apud* Leitte, 1999).

La elección del CAP es, muy importante en las propiedades de la mezcla, debido a que el tipo de polímero a utilizar y como su dosificación, depende de la naturaleza del CAP.



*Figura 2.3 Observación de estructuras de asfalto modificado con diferentes contenidos de SBS en el microscopio de reflexión de fluorescencia.*

FUENTE: WORLD ROAD ASSOCIATION (1998).

#### **2.2.10. Pavimento de Concreto Asfáltico en caliente**

Se define como mezcla asfáltica (o bituminosa) en caliente a la combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante asfáltico a una temperatura controlada de 160° C aproximadamente.

Las cantidades relativas de ligante y áridos determinan las propiedades físicas de la mezcla.

El proceso de fabricación implica calentar el agregado pétreo y el ligante a alta temperatura (160°C aprox.), para que en seguida sea esparcida y compactada en obra.

Para la producción del pavimento de concreto asfáltico en caliente, se deben tener las siguientes consideraciones.



### 2.2.10.1. Agregado minerales Gruesos:

Se aplica en lo que corresponda, lo especificado en la Tabla 2.2 Los agregados gruesos, deben cumplir además con los requerimientos, establecidos en la Tabla 2.5 (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

### 2.2.10.2. Agregado minerales Finos:

Se aplica en lo que corresponda, lo especificado en la Tabla 2.2 Adicionalmente deberá cumplir con los requerimientos de la Tabla 2.6 (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

\* Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la Subsección 430.02.
- La notación "85/50" indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

*Tabla 2.7–Requerimientos para los agregados gruesos.*

FUENTE: Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013).

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

\*\*Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, Subsección 430.02.

*Tabla 2.8–Requerimientos para los agregados finos.*

FUENTE: Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013).

### 2.2.10.3. Gradación:

La gradación de los agregados pétreos para la producción de la mezcla asfáltica en caliente deberán ajustarse a alguna de las siguientes gradaciones y serán propuestas por el Contratista y aprobadas por el Supervisor.

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino según lo establecido párrafos arriba, el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el 1% de partículas deleznable según ensayo MTC E 212. Tampoco deberá contener materia orgánica y otros materiales deletéreos. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

#### **Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC):**

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los husos granulométricos, especificados en la Tabla 2.7 Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).



Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N.º 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.º 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.º 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.º 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.º 200)	4-8	4-8	5-10

Tabla 2.9–Gradación para agregados MAC.

FUENTE: Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013).

A continuación se muestran las gradaciones que la ASTM proporciona para que puedan utilizarse y ser empleados en nuestras mezclas asfálticas, las cuales se encuentran en la norma ASTM, internacional y reconocida a nivel mundial.

Así mismo, para esta investigación se utilizó la granulometría ASTM D 3515, huso 5 (resaltada en rojo), ya que se vio por conveniente utilizar una gradación confiable y que asegure un buen desarrollo en la investigación.

TAMIZ	MEZCLAS CERRADAS								
	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO								
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16
GRADACIONES PARA MEZCLAS DE AGREGADOS (GRUESO, FINO Y FILLER)									
2 1/2"	100	---	---	---	---	---	---	---	---
2"	90 - 100	100	---	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	---	90 - 100	100	---	---	---	---	---	---
1"	60 - 80	---	90 - 100	100	---	---	---	---	---
3/4"	---	56 - 80	---	90 - 100	100	---	---	---	---
1/2"	35 - 65	---	56 - 80	---	90 - 100	100	---	---	---
3/8"	---	---	---	56 - 80	---	90 - 100	100	---	---
Nº4	17 - 47	23 - 53	29 - 59	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100	---	100
Nº8	10 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100	---	95 - 100
Nº16	---	---	---	---	---	---	40 - 80	---	85 - 100
Nº30	---	---	---	---	---	---	35 - 65	---	70 - 95
Nº50	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40	---	45 - 75
Nº100	---	---	---	---	---	---	3 - 20	---	20 - 40
Nº200	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10	---	9 - 20
ASFALTO, PORCENTAJE CON RESPECTO AL PESO TOTAL DE LA MEZCLA									
	2 - 7	3 - 8	3 - 9	4 - 10	4 - 11	5 - 12	6 - 12	7 - 12	8 - 12

Tabla 2.10: Husos granulométricos según ASTM D 3515.

FUENTE: Manual ASTM - 2014

#### 2.2.10.4. Filler o polvo mineral:

El filler o relleno de origen mineral, que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante del asfalto o como mejorador de adherencia



al par agregado-asfalto, podrá ser de preferencia cal hidratada, que deberá cumplir la norma AASHTO M-303.

La cantidad a utilizar se definirá en la fase de diseños de mezcla según el Método Marshall. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

#### **2.2.10.5. Cemento asfáltico:**

El Cemento Asfáltico deberá cumplir con lo especificado en la sección correspondiente a la tabla 2.2, y los equivalentes al PG (Grado de Comportamiento-AASHTO M-320) basados en el clima y temperatura de la zona. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

#### **2.2.11. Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente - Método Marshall**

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las propiedades relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen varios métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de agregado y asfalto en una mezcla; El Método Marshall tiene como propósito principal determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento. El método Marshall, como se presenta en esta sección, solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que utilizan cemento asfáltico clasificado por viscosidad o penetración, y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de penetración.

#### **2.2.12. Estabilidad y Flujo de Mezclas Asfálticas**

##### **ESTABILIDAD:**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas de tránsito. Un pavimento estable es capaz



de mantener su forma bajo las cargas repetitivas. La especificación de estabilidad deben ser lo suficiente altas para soportar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exigen las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con las características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen una respecto a otra debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico. En términos generales entre más angular sea la forma de las partículas del agregado y más áspera sea su textura superficial. Más alta será la estabilidad de la mezcla.

#### **FLUJO:**

El flujo propiamente es medido en centésimas de pulgada, lo cual representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que contienen valores bajos de fluencia y los valores muy altos de estabilidad son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

Para la medición de la estabilidad como el flujo se requiere de la prueba Marshall la cual ayudará a medir la resistencia a la deformación de la mezcla (estabilidad) y la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

#### **2.2.13. Desempeño de Mezclas Asfálticas**

##### **RESISTENCIA A LA DEFORMACION PERMANENTE:**

Es la resistencia que presenta la mezcla asfáltica a la falla que se presenta con la formación de “ahuellamientos” que comprometen el confort y la

seguridad, y en consecuencia la calidad de la circulación de los usuarios especialmente en días de lluvia donde la acumulación de agua, hace altamente riesgosa la conducción de vehículos.

Este tipo de fallas en el asfalto ocurre básicamente por un exceso de ligante asfáltico en la mezcla asfáltica o gradación de la mezcla asfáltica. (Escalante, 2007)

**Las peores condiciones para la deformación permanente son:**

- Altas temperaturas.
- Humedad.
- Vehículos muy pesados.
- Trafico canalizado.
- Tráfico lento de vehículos.

**La resistencia a la deformación depende de:**

- Granulometría y forma de los agregados.
- Contenido de ligante asfáltico.
- Diseño de mezcla.
- Apropiaada compactación en obra.

**La resistencia a la deformación es medida por:**

- Ensayo de Creep Dinámico.
- Ensayo Wheel tracking (usado).

## **RESISTENCIA A LA FATIGA**

La resistencia a la fatiga se presenta como el número de aplicaciones de carga necesaria para que la mezcla asfáltica comience a fallar, debido a las tensiones que se producen. El fenómeno de fatiga puede ser descrito, técnicamente, como la disminución gradual de la resistencia de un material por efecto de las cargas repetitivas, o la carga y descarga constante del pavimento, debido a la acción del tráfico, que genera deformaciones elásticas.

Con los fenómenos de deformación y recuperación contantes, surgen tensiones de tracción en las fibras interiores de la capa asfáltica del pavimento, que dañan el material por cada ciclo, todos estos se acumulan hasta producir la ruptura de la capa asfáltica. (Escalante, 2007).

El método de determinación de la fatiga de nuestras mezclas asfálticas será por medio del método con deformación controlada, la cual consiste

en someter nuestras muestras a ciclos de carga con deformación constante y se determina el esfuerzo, el cual varía con el tiempo (ciclos de carga). El esfuerzo que soporta el material disminuye en la medida que el ensayo progresa y su módulo de rigidez decrece. Se registra la evolución de la carga durante el ensayo. Se considera que se ha producido el fallo por fatiga cuando la carga o el módulo de rigidez del material ensayado se reduce a la mitad. (Vida a la Fatiga de Mezclas Asfálticas compactadas – MTC, 2013).

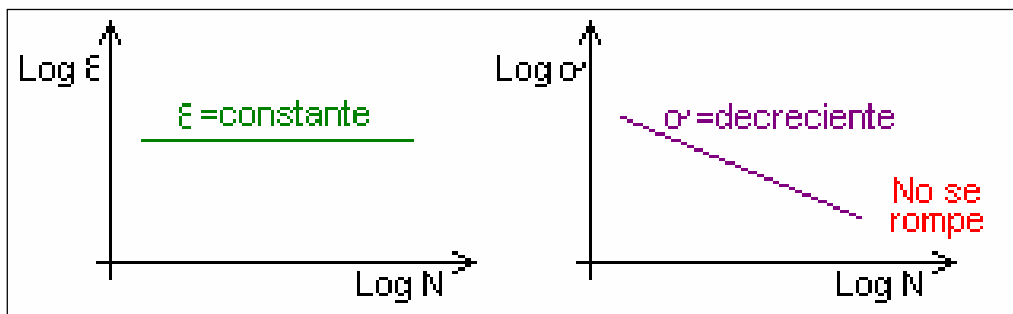


Figura 2.4 – comportamiento por deformación controlada del ensayo.

FUENTE: Gonzales Rodríguez y Velandia Arguello (2006).

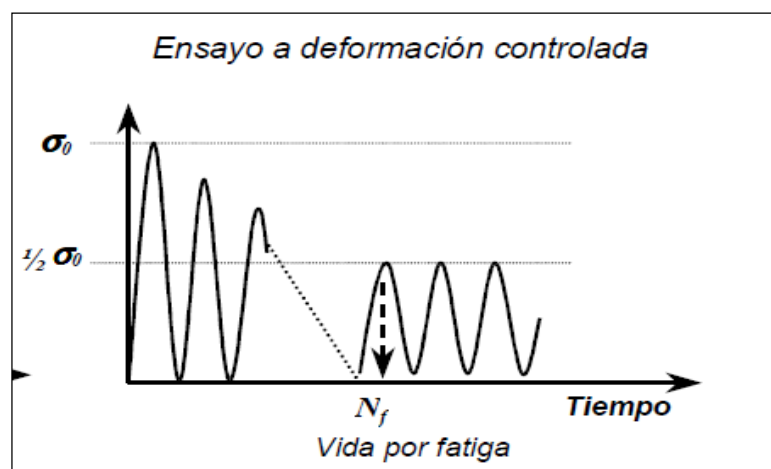


Figura 2.5 – falla por deformación controlada.

FUENTE: Franco (2012).

## CAPITULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Metodología De La Investigación

#### 3.1.1. Tipo de Investigación

La presente investigación se tipifica como una investigación Cuantitativa, según a lo que indica Hernández, S. et. Al, (2010), *“es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar o eludir” pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de la(s) hipótesis.”*

Así mismo, se tipifico como una investigación cuantitativa ya que se plantea un problema específico y delimitado, se toma en consideración investigaciones anteriores relacionadas al tema en cuestión, se construye un marco teórico, la misma que deriva en una o varias hipótesis y las somete a pruebas mediante el empleo de los diseños de investigación apropiados, también, debido a que los datos son producto de mediciones y se representan mediante números (cantidades) y estos deben ser analizados debidamente.

#### 3.1.2. Nivel de Investigación

El presente proyecto de investigación según la clasificación presentada por Hernández, S. et al, (2010) es de tipo explicativa - correlacional.

El nivel de esta investigación se clasifica como correlacional debido a que cada uno de los sucesos que vienen relacionados uno tras de otro y se trata de conocer el porqué de cada suceso así como también se hacen los análisis debidos con cada una de las variables, también, se clasifica como explicativa debido a que como fin principal tiene el de responder por las causas de los eventos y fenómenos que vengan sucediendo, ya que su



interés se centra en explicar porque ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables.

Esta investigación tiene como finalidad conocer el desempeño dinámico de las mezclas asfálticas elaboradas con cemento asfáltico peruano convencional y modificado con polímeros SBS, a través de ensayos en laboratorio de, fatiga dinámica y deformación permanente.

### **3.1.3. Método de Investigación**

La metodología a utilizar para realizar la presente investigación es la de Hipotético – Deductivo.

Debido a que para desarrollar la investigación se tienen que plantear distintas hipótesis que serán comprobadas como verdícas o falsas, producto de esta investigación, así como también se desarrollan diferentes procesos para poder deducir como ocurrirán los fenómenos o acciones que se esperan, mediante la realización de una contrastación con la realidad para aceptarse o rechazarse debido a los resultados obtenidos (Hernández, 2010).

## **3.2. Diseño de Investigación**

### **3.2.1. Diseño Metodológico**

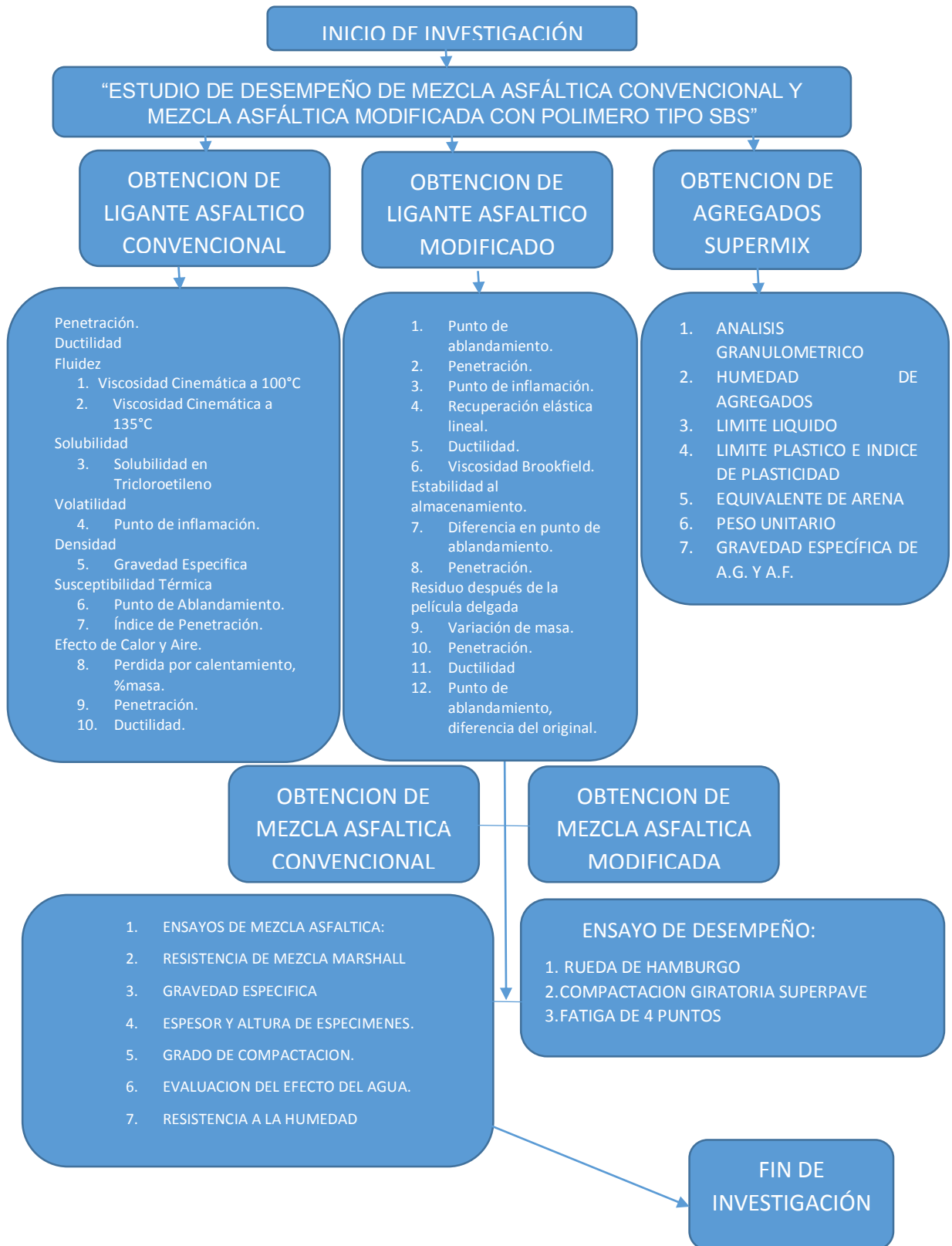
La investigación que se realiza es netamente Experimental, denominada más específicamente como Experimental Pura (Hernández, 2010).

Como indica Hernández, S. *et. Al*, (2010), *“El primer requisito es la manipulación intencional de una o más variables independientes. La variable independiente es la que se considera como supuesta causa en una relación entre variables, es la condición antecedente, y al efecto provocado por dicha causa se le denomina variable dependiente (consecuente).”*

Esto debido a que se varía una de las variables independientes al momento de realizar las pruebas para así obtener resultados de la investigación, en este caso se analizaran dos tipos de mezclas asfálticas en caliente, la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada por polímeros de tipo SBS, las variaciones también se reflejan

en las variables dependientes, variando así sus resistencias a la deformación permanente y a la fatiga.

**3.2.2. Diseño de Ingeniería**





### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

Para el presente estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional y de mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS, se deben realizar cuerpos de prueba para cada tipo de mezcla asfáltica, con el fin de realizar los ensayos necesarios, tanto para diseño como para la determinación del desempeño que tienen cada una de ellas.

Para los ensayos y análisis del diseño de cada una de las mezclas se contarán con 20 briquetas por cada diseño, teniendo un total de 40 para esta parte, para la determinación del desempeño se contará con 2 briquetas por diseño, estas dos para la determinación de deformación permanente y 1 viga estandarizada para el cálculo de resistencia a fatiga.

##### 3.3.1.1. Descripción de la Población

La población de estudio con la que se cuenta son briquetas conformadas por los dos tipos de mezclas asfálticas que se pretende estudiar. Para el diseño de mezcla asfáltica se considera utilizar 20 briquetas con dimensiones de 10 cm (4") de diámetro y 6cm (aproximadamente) de altura; para el ensayo de resistencia a la deformación permanente se utilizara 8 cuerpos de prueba de 15 cm (6") de diámetro y 5 cm (1.5" – 2.5" aprox. (AASHTO T 324, p.4)) de altura y para los ensayos de resistencia a la fatiga se utilizara 4 vigas normalizadas y estandarizadas con dimensiones, de 5cmx6.3cm de sección y 38cm de largo.

##### 3.3.1.2. Cuantificación de la Población

CUERPOS DE PRUEBA DE MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL		
DISEÑO DE MEZCLA	DEFORMACION PERMANENTE	RESISTENCIA A LA FATIGA
20	4	2
CUERPOS DE PRUEBA DE MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL		
DISEÑO DE MEZCLA	DEFORMACION PERMANENTE	RESISTENCIA A LA FATIGA
20	4	2
TOTAL		52

Tabla 3.1–Cuantificación de población.

FUENTE: PROPIA

### 3.3.2. Muestra

#### 3.3.2.1. Descripción de Muestra

La muestra de estudio con la que se cuenta es conformada por la misma población antes explicada debido a la cantidad de nuestros cuerpos de prueba, los cuales son briquetas conformadas por los dos tipos de mezclas asfálticas que se pretende estudiar. Para el diseño de mezcla asfáltica se considera utilizar 20 briquetas con dimensiones de 10 cm (4") de diámetro y 6cm (aproximadamente) de altura; para el ensayo de resistencia a la deformación permanente se utilizara 8 cuerpos de prueba de 15 cm (6") de diámetro y 5 cm (1.5" – 2.5" aprox. (AASHTO T 324, p.4)) de altura y para los ensayos de resistencia a la fatiga se utilizara 4 vigas normalizadas y estandarizadas con dimensiones, de 5cmx6.3cm de sección y 38cm de largo.

#### 3.3.2.2. Cuantificación de Muestra

CUERPOS DE PRUEBA DE MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL		
DISEÑO DE MEZCLA	DEFORMACION PERMANENTE	RESISTENCIA A LA FATIGA
20	4	2
CUERPOS DE PRUEBA DE MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL		
DISEÑO DE MEZCLA	DEFORMACION PERMANENTE	RESISTENCIA A LA FATIGA
20	4	2
TOTAL		52

Tabla 3.2–Cuantificación de Muestra.

FUENTE: PROPIA

#### 3.3.2.3. Método de Muestreo

El método de muestreo que se utiliza es el método No Probabilístico debido a que se cuenta con una población de estudio controlable y reducida, razón por la cual, la muestra posee la misma dimensión que nuestra población, se opta por esta opción debido a que el control, análisis y estudio se hace a todas y cada uno de nuestros cuerpos de prueba o briquetas.

#### 3.3.2.4. Criterios de Evaluación de Muestra

Las briquetas que serán estudiadas deberán de contar con requisitos indispensables:



- Diseño de mezclas asfálticas correspondiente a cada uno de los ligantes asfálticos utilizados (convencional PEN85/100 Plus y Modificado por polímero SBS PG 70 -28).
- Todos los cuerpos de prueba utilizados para el diseño de mezclas deberán realizarse de manera controlada, cumpliendo todos los estándares establecidos en norma con la finalidad de tener consistencia y repetitividad en los resultados de los ensayos.
- Para el Diseño de Mezclas, los cuerpos de prueba se moldearan de acuerdo a la norma de ensayo ASTM D 6926 con un peso de 1200 gramos aproximadamente, geometría con las siguientes dimensiones, 10 cm (4" aprox.) de diámetro y 6 cm aproximadamente de altura.
- Para determinar la densidad máxima medida (Rice) se utilizara la norma de ensayo ASTM D 2041 con un peso de 1500 gramos, para nuestro tamaño máximo nominal TMN de ½".
- Para el ensayo de resistencia a la deformación permanente, los cuerpos de prueba se moldearan de acuerdo a la norma de ensayo AASHTO T 324 con dimensiones estandarizadas de 15 cm (6" aprox.) de diámetro y 5 cm (1.5" – 2.5" aprox. (AASHTO T 324, p.4)) de altura.
- Para el ensayo de resistencia a la fatiga los cuerpos de prueba se moldearan de acuerdo a la norma de ensayo AASHTO T 321, estas son vigas normalizadas, de 5cm x 6.3cm de sección y 38cm de largo.
- Para los ensayos de resistencia a la deformación permanente y resistencia a la fatiga, el contenido de ligante asfáltico con el que se fabricaran los cuerpos de prueba será el óptimo determinado en el diseño Marshall, tanto para el asfalto convencional como para el asfalto modificado con polímero tipo SBS.

#### **3.3.2.5. Criterios de Inclusión**

Se incluirá en el estudio agregados que cumplan con todas las especificaciones necesarias establecidas en las Especificaciones generales de carreteras (EG – 2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, y que también fueron expuestos en el flujograma presentado anteriormente, los ligantes deberán cumplir con todos los parámetros de calidad expuestos en las normas ASTM, que también

fueron mostrados en el flujo grama, así mismo la mezcla asfáltica deberá cumplir con las Especificaciones Generales de Carreteras (EG – 2013).

### 3.4. Instrumentos

#### 3.4.1. Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos.



### CONTROL DEL AGREGADO

EXPEDIENTE A.G.

PROYECTO \_\_\_\_\_  
 UBICACIÓN \_\_\_\_\_  
 SOLICITANTE \_\_\_\_\_  
 FECHA DE RECEPCIÓN \_\_\_\_\_

DISENO: \_\_\_\_\_

**REFERENCIA DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : \_\_\_\_\_  
 DESCRIPCIÓN : \_\_\_\_\_

PRESENTACIÓN : \_\_\_\_\_  
 CANTIDAD : \_\_\_\_\_

**1.- GRANULOMETRIA**

SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	RETENIDO %	RET.ACUM %	PASA %
3"	76.2				
2 1/2"	63.5				
2"	50.8				
1 1/2"	38.1				
1"	25.4				
3/4"	19.1				
1/2"	12.7				
3/8"	9.5				
1/4"	6.3				
# 4	4.8				
# 6	3.4				
# 8	2.4				
# 10	2.0				
# 16	1.2				
# 20	0.8				
# 30	0.6				
# 40	0.4				
# 50	0.3				
# 80	0.2				
# 100	0.2				
# 200	0.1				
< # 200					

$W_{Humedo} =$  Humedad =  $W_{Seco} =$

**2.- PESO UNITARIO SUELTO (PUS)**

AGREGADO FINO / GRUESO	ENSAYO	
	1	2
A) Peso Material + Molde gr.		
B) Peso de Molde gr.		
C) Peso Neto del Material (A-B) gr.		
D) Vol. del Molde gr/cm <sup>3</sup> .		
E) Peso Unitario Suelto ((C / D)*1000) gr/cm <sup>3</sup>		
PROMEDIO gr/cm <sup>3</sup>		

**3.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

CONTENIDO DE HUMEDAD	ENSAYO	
	1	2
A) Peso Tara		
B) Peso de Tara + Mat. Humedo gr.		
C) Peso de Tara + Mat. Seco gr.		
D) Contenido de Humedad %		

**4.- EQUIVALENTE DE ARENA**

	ENSAYO		PROMEDIO
	1	2	
Hora de Inicio de Saturación			
Hora de Final de Saturación			
Hora de Inicio de Decantación			
Hora de Final de Decantación			
A) Lectura inicial			
B) Lectura Final			
Equivalente de Arena ((B / A)*100)			

**5.- AZUL DE METILENO**

A) Baja reactividad	0 - 6 mg/gr
B) Mediana reactividad	7 - 12 mg/gr
C) Alta reactividad	12 < mg/gr

**6.- GRAVEDAD ESPECIFICA**

AGREGADO FINO	ENSAYO		PROMEDIO
	1	2	
A) Peso Material S S Seco (en el aire) gr.			
B) Peso de Fiola gr.			
C) Peso de Fiola + Material (B+A) gr.			
D) Peso de Material + Fiola + Agua gr.			
E) Peso del Agua (D-C)			
F) Peso de Material Seco gr.			
G) Volumen de la fiola			
P.E Bulk (base seca) (F / (G-E))			
P.E Bulk (base saturada) (G / (A-E))			
P.E Aparente (base seca) (F / ((500-E)-(500-F))			
% Absorción ((A-F) / F)*100			

AGREGADO GRUESO	ENSAYO		PROMEDIO
	1	2	
A) Peso Material S S Seco (en el aire) gr.			
B) Peso Material S S Seco (en agua) gr.			
C) Vol. de Masa - Vol. de Vacios (A-B)			
D) Peso de Material Seco gr.			
E) Volumen de Masa (C- (A-D))			
P.E Bulk (base seca) (D / C)			
P.E Bulk (base saturada) (A / C)			
P.E Aparente (base seca) (D / E)			
% Absorción ((A-D) / D)*100			

**7.- CARAS FRACTURADAS**

ABERTURA MALLA		GRADACIO N ORIGINAL	PESO FRACCION INICIAL	SIN CARAS FRACTURADAS			CON 1 A MAS CARAS			CON 2 A MAS CARAS		
PASA (%)	RET. (%)			SIN FRACTURA	%	CORREGIDO	FRACTURA	%	CORREGIDO	FRACTURA	%	CORREGIDO
1 1/2"	1"											
1"	3/4"											
3/4"	1/2"											
1/2"	3/8"											

% CON 1 A MAS CARAS	
% CON 2 A MAS CARAS	

**8.- PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS**

ABERTURA MALLA		GRADACIO N ORIGINAL	PESO FRACCION INICIAL	PESO FRACCION QUE PASA	% CHATAS Y ALARGAD	CHATAS YA ALARGADAS CORREGIDO
PASA (%)	RET. (%)					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
3/8"	Nº4					

% CHATAS Y ALARGADAS	
----------------------	--

**9.- INDICE DE LAMINARIDAD**

ABERTURA MALLA		GRADACIO N ORIGINAL	PESO FRACCION INICIAL	PESO FRACCION QUE PASA	% INDICE LAMINAR	INDICE LAMINAR CORREGIDO
PASA (%)	RET. (%)					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
3/8"	1/4"					

% INDICE DE LAMINAR	
---------------------	--

**3.4.2. Instrumentos de Ingeniería.**

Para Ligantes Asfálticos, Convencional y Modificado

1. Microscopio de Fluorescencia.
2. Equipo de Baño María.
3. Equipo de viscosidad Brookfield.
4. Equipo de Punto de Ablandamiento.
5. Equipo de Penetración.
6. Ductilómetro.
7. Equipo de Viscosidad Cinemática.
8. Equipo de Punto de Inflamación.
9. Equipo de Solubilidad en Tricloroetileno.
10. Equipo de Gravedad Específica.
11. Horno de Película Fina Rotatoria.
12. Horno de Envejecimiento a Presión PAV.
13. Reometro de viga en flexion - BBR (Bending Beam Rheometer).
14. Reometro de corte dinámico - DSR (Dynamic Shear Rheometer).



Mezcla Asfáltica, Convencional y Modificada

15. Mezcladora Mecánica para Mezcla Asfáltica.
16. Compactador Giratorio SUPERPAVE.
17. Hornos de convección.
18. Equipo de Rueda de Hamburgo - DWT.
19. Máquina de Ensayos Universal - UTM.
20. Prensa Marshall.
21. Compactadora Mecánica Marshall.

Agregados Cantera Supermix.

22. Equipo de Granulometría.
23. Cuchara de casa grande.
24. Equipo de Azul de metileno.
25. Hornos de convección.
26. Equipo de Equivalente de Arena.
27. Equipo de caras Chatas y Alargadas.

### **3.5. Procedimientos de Recolección de Datos**

#### **AGREGADOS**

##### **3.5.1. Análisis Granulométrico**

###### **a) Equipos utilizados en la Prueba**

El equipo de laboratorio denominado como Equipo de Granulometría de Agregados (zaranda mecánica) es el usado para esta prueba el cual es compuesto por mallas normalizadas ASTM con las aberturas correspondientes para la determinación y clasificación de nuestros agregados.

###### **b) Procedimiento**

Para el análisis granulométrico, se siguieron los siguientes pasos.

1. Se hizo la recolección del agregado de la cantera "Supermix", los cuales fueron trasladados hasta el Centro de Desarrollo Tecnológico del Grupo TDM para realizar el ensayo de Granulometría.



*Figura 3.1 – Control de agregados recibidos.*

FUENTE: PROPIA.

2. Se procede a seleccionar el agregado, en los pesos adecuados, para proceder con el respectivo cuarteo y obtener una cantidad representativa de cada uno de los tipos de agregado, fino y grueso, que se necesitan para después empezar con el tamizado de manera manual para las mallas más gruesas. La granulometría del agregado fue realizado tomando en consideración las mallas establecidas para la gradación de la ASTM D 3515 (huso 5) que fue seleccionada para la producción de la mezcla asfáltica, para realizar este ensayo nuestros agregados deben estar lavados, totalmente secos y libre de impurezas.



*Figura 3.2: Cuarteo de los Agregados de la cantera “Supermix” – Cusco.*

FUENTE: PROPIA.





Figura 3.3 – Tamizado de agregados.

FUENTE: PROPIA.



Figura 3.4 – Tamizado de agregados.

FUENTE: PROPIA.

TAMIZ	MEZCLAS CERRADAS								
	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO								
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16
GRADACIONES PARA MEZCLAS DE AGREGADOS (GRUESO, FINO Y FILLER)									
2 1/2"	100	---	---	---	---	---	---	---	---
2"	90 - 100	100	---	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	---	90 - 100	100	---	---	---	---	---	---
1"	60 - 80	---	90 - 100	100	---	---	---	---	---
3/4"	---	56 - 80	---	90 - 100	100	---	---	---	---
1/2"	35 - 65	---	56 - 80	---	90 - 100	100	---	---	---
3/8"	---	---	---	56 - 80	---	90 - 100	100	---	---
N°4	17 - 47	23 - 53	29 - 59	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100	---	100
N°8	10 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100	---	95 - 100
N°16	---	---	---	---	---	---	40 - 80	---	85 - 100
N°30	---	---	---	---	---	---	35 - 65	---	70 - 95
N°50	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40	---	45 - 75
N°100	---	---	---	---	---	---	3 - 20	---	20 - 40
N°200	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10	---	9 - 20
ASFALTO, PORCENTAJE CON RESPECTO AL PESO TOTAL DE LA MEZCLA									
	2 - 7	3 - 8	3 - 9	4 - 10	4 - 11	5 - 12	6 - 12	7 - 12	8 - 12

Tabla 3.3–Granulometrías para Mezclas, huso 5 resaltado en rojo.

FUENTE: MTC

- Una vez concluida esta primera parte para la fracción gruesa se procede a tamizar la parte más fina con las mallas más finas para así obtener la curva granulométrica representativa de nuestros agregados.



Figura 3.5 – Tamizado mecánico agregado fino.

FUENTE: PROPIA.

c) Toma de Datos

PROYECTO: Victor Rafael Estrada E.  
 UBICACIÓN: \_\_\_\_\_  
 SOLICITANTE: \_\_\_\_\_  
 FECHA DE RECEPCIÓN: \_\_\_\_\_  
 REFERENCIA DE LA MUESTRA: \_\_\_\_\_  
 IDENTIFICACIÓN: arena zorandecada  
 DESCRIPCIÓN: \_\_\_\_\_

1.- GRANULOMETRIA

SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	RETENIDO %	RET.ACUM %	PASA %
3"	76.2				
2 1/2"	63.5				
2"	50.8				
1 1/2"	38.1				
1"	25.4				
3/4"	19.1				
1/2"	12.7				
3/8"	9.5		3.7		
1/4"	6.3	3.7	17.1		
# 4	4.8		18.8		
# 6	3.4		43.6		
# 8	2.4		44.6		
# 10	2.0		23.4		
# 16	1.2		71.9		
# 20	0.8		59.5		
# 30	0.6		105.5		
# 40	0.4		154.4		
# 50	0.3		149.4		
# 80	0.2		128.3		
# 100	0.2		12.4		
# 200	0.1		32.9		
< # 200			2.8		

W<sub>Humido</sub> = \_\_\_\_\_ Humedad = \_\_\_\_\_ W<sub>Seco</sub> = 961.2

Tabla 3.4–Toma de datos Granulometría

FUENTE: PROPIA

### 3.5.2. Humedad en los agregados

#### a) Equipos utilizados en la Prueba

Se tendrá a disposición:

- Agregado grueso y fino de la cantera “Supermix”.
- Bandejas de prueba.
- Horno de convección.
- Balanza.

#### b) Procedimiento

1. Para hallar la humedad que contienen los agregados, primero se tiene que pesar los agregados en estado natural, o como llegaron al laboratorio, de preferencia si esto se hace una vez ya separado por cada tamaño de cada tipo de agregado, para luego ingresarlos al horno cada uno de los agregados.



*Figura 3.6 – Ingreso de agregados al horno.*

FUENTE: PROPIA.

2. Después de depositar nuestros agregados durante 24 horas en el horno a una temperatura de 110°C, se procede a extraerlos, dejarlos enfriar y pesarlos, se supone que hasta este punto el agregado ya evaporo la totalidad de la humedad que este contenía, entonces al hacer la comparación de ambos pesos, se obtiene el porcentaje de humedad natural de los agregados.

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{PS - PSh}{PS} \times 100$$

Donde:

PS= Peso del agregado original.

PSH= Peso del agregado secado en el horno.

### c) Toma de Datos

CONTENIDO DE HUMEDAD	ENSAYO	
	1	2
A) Peso Tara	16g.	16g.
B) Peso de Tara + Mat.Humedo gr.	139.3g.	132.9g.
C) Peso de Tara + Mat.Seco gr.	116.7g.	113.2g.
D) Contenido de Humedad %	16%	14%

Tabla 3.5–Toma de datos Humedad

FUENTE: PROPIA

### 3.5.3. Equivalente de Arena

#### a) Equipos utilizados en la Prueba

Los equipos a utilizar son los siguientes:

- Cilindro o probeta graduada de plástico normalizada.
- Agitador mecánico para equivalente de arena.
- Horno.

#### b) Procedimiento

1. El presente ensayo se realiza para determinar la cantidad de polvo fino o contenido de la fracción fina que nuestros agregados poseen dentro de su composición.
2. Para este ensayo se trabaja con agregados que pasen la malla N°4, luego se vierte en la probeta de plástico una cantidad determinada de agua, seguidamente se procede a verter una cantidad determinada del suelo seleccionado con la cantidad necesaria de la solución de Cloruro de Calcio, dejando reposar por 10 minutos. Pasado el tiempo, se golpea ligeramente la base de nuestra probeta para lograr una mejor mezcla y ascenso de nuestras partículas finas a la superficie, seguidamente se procede a agitar la probeta mediante el uso del agitador mecánico por un tiempo de 45 segundos.

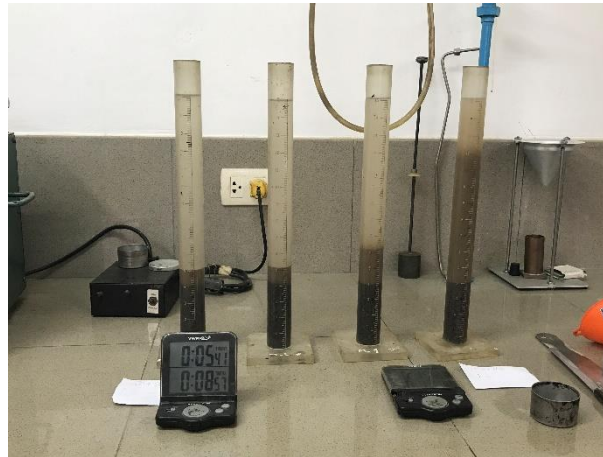


Figura 3.7– Equivalente de arena.

FUENTE: PROPIA.

3.Una vez terminado el periodo de agitación, se deja reposar la probeta durante 20 minutos, pasados estos 20 minutos de reposo y sedimentación se procede a hacer la lectura de la altura de material fino que se encuentra, siendo este nuestro resultado del ensayo.

**c) Toma de Datos**

	ENSAYO		PROMEDIO
	1	2	
Hora de Inicio de Saturación			
Hora de Final de Saturación			
Hora de Inicio de Decantación			
Hora de Final de Decantación			
A) Lectura inicial	5.9	6.0	
B) Lectura Final	4.0	4.0	
Equivalente de Arena $((B / A) * 100)$	68	67	68

Tabla 3.6– Toma de datos Equivalente de Arena

FUENTE: PROPIA

**3.5.4. Gravedad Específica**

**a) Equipos Utilizados en la Prueba**

Los equipos utilizados para el ensayo son los siguientes:

- Material fino de nuestro agregado pasante la malla N°8.
- Fiola volumétrica de 500 ml.
- Bomba de vacíos.



- Agua destilada.

**b) Procedimiento**

1. Para la gravedad específica se selecciona la parte fina en los agregados, las partículas que pasen la malla N°4.



*Figura 3.8 – vertido del agregado en la fiola de 500 ml.*

FUENTE: PROPIA.

2. Se procede a trabajar con una fiola de 500ml, en la cual se necesitaran pesos de esta vacía y otra de esta llena hasta el menisco con agua destilada y desairada. En la fiola vacía se vierte el agregado que pasa la malla N°4 en una cantidad de 500 gramos y luego llenarla con agua y proceder a extraer todo el aire que pueda tener atrapado mediante el uso de la bomba de vacío y agitación manual, finalmente completar con agua destilada hasta la altura del menisco, obteniendo este último peso como nuestro último dato.

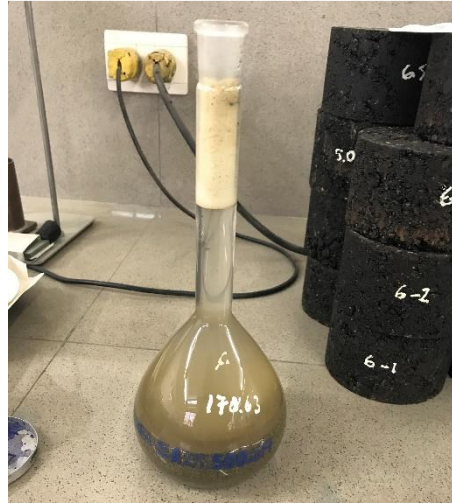


Figura 3.9 – Peso específico de los agregados.

FUENTE: PROPIA.

3. Una vez que se tenga estos resultados se procede a trabajar con las formulas expuestas en la tabla 3.7.

**c) Toma de Datos**

**6.- GRAVEDAD ESPECIFICA**      **A**

AGREGADO FINO	ENSAYO		PROMEDIO
	1	2	
A) Peso Material S S Seco(en el aire) gr.	500		
B) Peso de Fiola gr.	170.63		
C) Peso de Fiola + Material (B+A) gr.			
D) Peso de Material + Fiola + Agua gr.	983.7		
E) Peso del Agua (D-C)			
F) Peso de Material Seco gr.	492.32		
G) Volumen de la fiola			
P.E Bulk (base seca) (F / (G-E))			2.634
P.E Bulk(base saturada) (G / (A-E))			2.625
P.E Aparente.(base seca) (F / ((500-E)-(500-F))			2.747
% Absorción ((A-F) / F*100)			1.6

Tabla 3.7–Toma de datos Gravedad Especifica

FUENTE: PROPIA



## LIGANTES ASFALTICOS

### 3.5.5. Punto de Inflamación o Copa Abierta Cleveland.

#### a) Equipos Utilizados en la Prueba

Para el siguiente ensayo de laboratorio se usaran los siguientes equipos:

- Equipo de punto de inflamación.
- Copa Cleveland.
- Termómetro.

#### b) Procedimiento

1. Se cuenta con la copa Cleveland la cual se procederá a llenar con bitumen caliente, menor a los 56°C según norma, la cual se llevara hasta donde está el aparato de punto de inflamación que es un soporte donde se coloca la copa abierta Cleveland, con un mechero debajo calentando el bitumen y una salida de fuego que pasa al ras del bitumen de lado a lado y un termómetro controlando la temperatura.



*Figura 3.10– Equipo de Punto de inflamación.*

FUENTE: PROPIA.

2. El ensayo trata de identificar a que temperatura nuestro ligante suelta el primer indicio de entrar en llama (Destello de color azul en la superficie de nuestro ligante asfaltico), porque se le dice primero, ya

que cuando ya entre en llama, el parámetro hallado será el punto de ignición mas no el de inflamación que es el requerido, una vez que esto sucede, se toma el dato de la temperatura a través del termómetro y ese sería el resultado final del ensayo.



Figura 3.11. – Ensayo Punto de Inflamación.

FUENTE: PROPIA.

### c) Toma de Datos

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Punto de Inflamación	255°C	283°C

Tabla 3.8–Toma de datos Punto de Inflamación.

FUENTE: PROPIA

### 3.5.6. Solubilidad en Tricloroetileno

#### a) Equipos Utilizados en la Prueba

Para el siguiente ensayo de laboratorio se usarán los siguientes equipos:

- Equipo de Solubilidad.
- Matraz Erlenmeyer.
- Crisol Gooch.
- Tricloroetileno puro.
- Papel filtro.

#### b) Procedimiento

1. Se cuenta con el matraz Erlenmeyer (250 ml) en el cual se colocará 2 gramos del ligante asfáltico, en el cual se procederá a verter poco a

poco los 100 ml de tricloroetileno que son los requeridos para realizar el ensayo, primero empezando vertiendo una pequeña cantidad y aumentando en cuanto se vaya dando la disolución del asfalto.

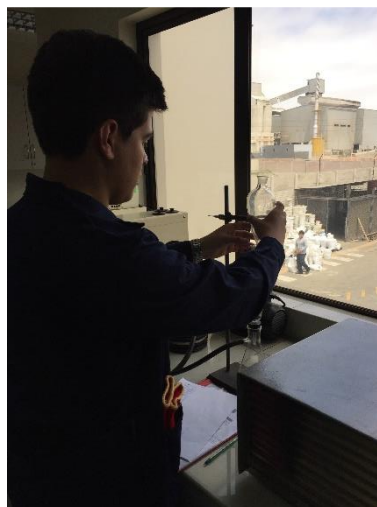
2. Una vez que se tienen los 100 ml de tricloroetileno con el asfalto disuelto en su configuración se procede a verter en la pera para empezar con el proceso de filtrado.



*Figura 3.12 – Equipo de Solubilidad.*

FUENTE: PROPIA.

3. Una vez que se cuenta ya con los 2 gramos de asfalto diluidos en los 100 ml de tricloroetileno, se procede a hacer caer desde la pera hasta un matraz más grande pero pasando por un papel filtro situado dentro del Crisol Gooch situado en la boquilla de dicho matraz más grande.



*Figura 3.13. – Ensayo de Solubilidad.*

FUENTE: PROPIA.

4. Para hallar el porcentaje de materia insoluble contenida se opera la siguiente formula.

$$\text{Porcentaje Insoluble} = \frac{W2 - W1}{wm} \times 100$$

Donde:

W1= masa de crisol y papel filtro.

Wm= masa de la muestra.

W2=masa de crisol, papel filtro y material insoluble.

**c) Toma de Datos**

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Solubilidad en Tricloroetileno	99.50%	99.57%

Tabla 3.9–Toma de datos Solubilidad en Tricloroetileno.

FUENTE: PROPIA

**3.5.7. Penetración****a) Equipos Utilizados en la Prueba**

Los equipos utilizados son los siguientes:

- Equipo de penetración semiautomático.
- Ligante asfaltico convencional PEN 85/100 Plus.
- Ligante asaltico modificado con polímero SBS PG 70 -28.
- Aguja de penetración normalizada.
- Pesa de 100 gramos acorde al ensayo a realizar.

**b) Procedimiento**

1. El presente ensayo consiste en la determinación del grado de penetración que tienen cada uno de nuestros ligantes asfalticos, tanto el convencional PEN 85/100 Plus como el ligante asfaltico modificado con polímero SBS PG 70 -28.



*Figura 3.14 – Equipo de Penetración.*

FUENTE: PROPIA.

2. Para comenzar con el ensayo se toma una muestra representativa de 400 a 600 g. la cual se calentará cuidadosamente y agitándola para evitar calentamientos locales a unos 150°C durante una media hora o menos calculando de acuerdo a la consistencia que vaya tomando nuestro ligante (esta temperatura de calentamiento y el tiempo también dependerá del tipo de ligante, esperándose un menor tiempo y temperatura de calentamiento para el ligante convencional y números mayores para el ligante asfáltico modificado con polímero SBS), una vez calentado los ligantes se procede a llenar los dish utilizados para el ensayo de penetración, hasta unos 40mm. aproximadamente un poco menos de la capacidad total del dish, se prepara un molde por cada tipo de ligante, después se dejan enfriar teniendo cuidado que no atrapen aire o impurezas hasta una temperatura de 25°C durante un tiempo de una hora y media, después se ingresan los dish con las muestras correspondientes en Baño María a 25°C por una hora y media más.



Figura 3.15 – Muestras para Ensayo de Penetración.

FUENTE: PROPIA.

3. Se procede con el ensayo regulando y bajando la aguja especificada en norma hasta antes de que toque el ligante asfaltico de donde se centra con respecto a la muestra y se procede a soltar la aguja por un periodo de tiempo de 5 segundos, seguidamente se mide la altura de penetración, obteniendo los resultados requeridos en dmm.



Figura 3.16 – Equipo de Penetración.

FUENTE: PROPIA.

**c) Toma de Datos**

	<b>PEN 85/100 Plus</b>	<b>PG 70 -28</b>
<b>Penetración a 25°C</b>	87 dmm	89 dmm



Tabla 3.10–Toma de datos Penetración

FUENTE: PROPIA

**3.5.8. Punto de Ablandamiento****a) Equipos Utilizados en la Prueba**

Los equipos a utilizar para realizar el ensayo de Punto de Ablandamiento son los siguientes:

- Equipo de punto de ablandamiento.
- Termómetro.
- Bolas o billas de acero normalizadas ASTM.
- Calentador o plancha eléctrica.

**b) Procedimiento**

1. El presente ensayo determina la temperatura en la cual los ligantes asfálticos comenzaran a ceder por acción de la temperatura, se produce un par de muestras (dos) con nuestro ligante asfáltico modificado, vertiéndolo en los anillos (con un ligero excedente) dejando a temperatura ambiente y al aire durante media hora y luego se procede a enrasar con una espátula caliente y se deja a temperatura ambiente media hora más.



Figura 3.17 – Muestras para Punto de Ablandamiento con ligero excedente para enrasar.

FUENTE: PROPIA.



2. Una vez obtenidas estas dos muestras se sumergen dentro de un recipiente resistente al calor o Beaker lleno de agua (normalizado de 800 ml de capacidad y llenado hasta una altura de 100mm), el calentamiento del recipiente será continuo y ascendente comenzando de 5°C/min hasta un máximo de 110°C al cual no debería llegar, encima de los anillos con las muestras de ligante asfaltico se ponen unas bolas de acero de 9.5mm de diámetro y de 3.5g aproximadamente.
3. Dentro del recipiente que se está sometiendo a calentamiento se ponen dos muestras con sus respectivas bolas de acero encima de las muestras de ligante, el calentamiento empieza con intervalos de 5°C por minuto, siendo estos controlados, una vez que las muestras ya empiezan a deformarse con el peso de las bolas de acero, el ensayo concluye cuando las bolas de acero de las muestras toquen el fondo del recipiente, en este momento se mide la temperatura, obteniendo así el valor del Punto de ablandamiento para cada ligante asfaltico, la diferencia de temperatura de falla entre muestras deberá ser 1°C, si excede este, el ensayo deberá repetirse debido a que sucedió algo que no permitió que el ensayo sea válido.



Figura 3.18 – Ensayo Punto de Ablandamiento.

FUENTE: PROPIA.

**c) Toma de Datos**

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Punto de Ablandamiento	44 °C	77 °C

*Tabla 3.11–Toma de datos Punto de Ablandamiento*

FUENTE: PROPIA

**3.5.9. Ductilidad****a) Equipos Utilizados en la Prueba**

Para el siguiente ensayo de laboratorio se usaran los siguientes equipos:

- Ductilómetro.
- Ligante asfáltico, convencional y modificado.
- Molde para ensayo de Ductilidad.
- Regla o elemento de control de medida.

**b) Procedimiento**

1. Para el presente ensayo de laboratorio, se calienta el ligante asfáltico hasta unos 150°C aproximadamente, de aquí se empiezan a llenar los moldes de ductilidad a la temperatura de calentamiento con un pequeño excedente, luego se espera a que se enfríen durante unos 30 minutos para que después se proceda a sumergirlos dentro del ductilómetro durante media hora para proceder a enrasar nuestros moldes y una hora y media dentro del baño María o también en el ductilometro.

*Figura 3.19 – Ductilometro.*

FUENTE: PROPIA.

2. El estiramiento o el alargamiento se da hasta que nuestras muestras se arranquen, ósea alcancen su límite de ductilidad, siempre estando atentos a este alargamiento ya que la toma de datos debe ser de inmediato y en la longitud en la que nuestro ligante fallo.

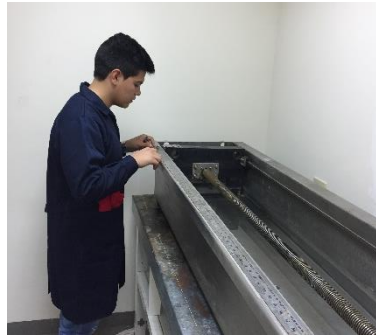


Figura 3.20. – Ensayo de Ductilidad.

FUENTE: PROPIA.

### c) Toma de Datos

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Ductilidad a 25°C	> 150 cm	92 cm

Tabla 3.12 –Toma de datos Ductilidad

FUENTE: PROPIA

### 3.5.10. Recuperación Elástica Lineal

#### a) Equipos Utilizados en la Prueba

Para el siguiente ensayo de laboratorio se usaran los siguientes equipos:

- Ductilómetro.
- Ligante asfáltico modificado con polímero SBS PG 70 -28.
- Molde para ensayo de Recuperación Elástica Lineal.
- Regla o elemento de control de medida.

#### b) Procedimiento

1. Para el presente ensayo de laboratorio, se calienta el bitumen hasta unos 150°C aproximadamente, de aquí se empiezan a llenar los moldes de Recuperación Elástica Lineal a la temperatura de calentamiento con un pequeño excedente, luego se espera a que se

enfrien durante unos 30 minutos para que después se proceda a sumergirlos dentro del ductilómetro durante media hora para después proceder a enrasar nuestros moldes y una hora y media dentro del baño María o también en el ductilometro.



*Figura 3.21– Ductilometro.*

FUENTE: PROPIA.

2. El estiramiento, para nuestro caso que se cuenta con un ligante asfáltico modificado con polímero SBS PG 70 -28, según hoja técnica y especificaciones técnicas, se debe realizar a una temperatura de 25°C y se estira hasta una longitud de 20cm, una vez que se llega a los 20cm, se aguarda 5 min estirado y luego se procede a cortar por la mitad nuestro ligante estirado y se espera el tiempo de una hora y se observa la recuperación elástica con la que se cuenta para este ligante asfáltico.



*Figura 3.22. – Muestras de Ensayo de Recuperación elástica lineal.*

FUENTE: PROPIA.

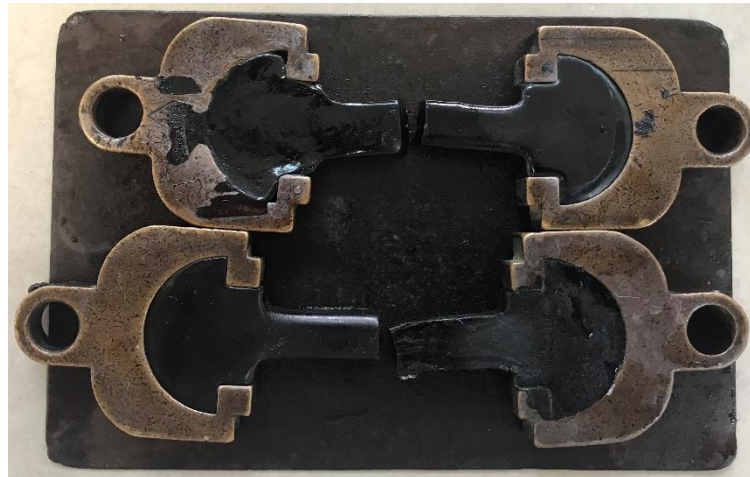


Figura 3.23 - Muestras y Resultados de Ensayo de Recuperación elástica lineal.

FUENTE: PROPIA.

### 3. Toma de Datos

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Recup Elast. Lineal a 25°C	-----	92%

Tabla 3.13–Toma de datos Recuperación elástica lineal

FUENTE: PROPIA

#### 3.5.11. Viscosidad Cinemática

##### a) Equipos Utilizados en la Prueba

Para el siguiente ensayo de laboratorio se usaran los siguientes equipos:

- Equipo de viscosidad cinemática.
- Baño de temperatura constante.
- Capilares correspondientes.
- Termómetro.
- Cronometro de mano.

##### b) Procedimiento

1. Para hallar el valor de la viscosidad cinemática se setea el baño de temperatura constante a 135°C, el ensayo consiste en verter el ligante asfáltico dentro del capilar de viscosidad cinemática ingresado en el viscosímetro, en la cual mediante una bomba de vacíos se ayuda a que el ligante fluya hasta la mitad del capilar y luego por gravedad llegue hasta el primer menisco, después se espera a que fluya hasta



un segundo menisco de sección uniforme donde naturalmente se da la estabilización en la temperatura a la cual se trabajará, para que empiece el proceso de ensayo, durante este tiempo se realiza la medida del tiempo con el cronometro de mano.



*Figura 3.24 – Equipo de viscosidad cinemática.*

FUENTE: PROPIA.

- Entre el 1er y 2do menisco (del cuerpo del capilar), se tiene una sección especial, es en esta sección donde se toma la medida del tiempo que transcurre el ligante asfáltico en fluir del 1er menisco hasta el 2do, este proceso se da de manera natural, hecho tan solo por la mera viscosidad o grado de fluidez de nuestro ligante asfáltico, de este procedimiento se obtiene el valor de la viscosidad cinemática (tiempo tomado por el cronometro \* constante de capilar según número y modelo).



Figura 3.25 – Cronometrando el flujo del ligante asfáltico durante el ensayo de viscosidad cinemática.

FUENTE: PROPIA.

### c) Toma de Datos

Para obtener la viscosidad cinemática se hace uso de los factores con los que se cuenta para cada uno de los capilares de viscosidad cinemática, estos varían de acuerdo al modelo y número de capilar, para este caso se usó un capilar Número 7 y se obtuvieron los siguientes datos.

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Viscosidad Cinemática	377 cST	802 cST

Tabla 3.14–Toma de datos Viscosidad Cinemática

FUENTE: PROPIA

### 3.5.12. Viscosidad Brookfield

#### a) Equipos Utilizados en la Prueba

Para el siguiente ensayo de laboratorio se usaran los siguientes equipos:

- Equipo de viscosidad Brookfield.
- Ligante asfáltico modificado con polímero SBS PG 70 -28.

#### b) Procedimiento

1. Se procede con llenar el cilindro de prueba del equipo de Viscosidad Brookfield con el ligante asfáltico debidamente calentado en una cantidad igual a 8.0 gramos ( $\pm 0.1$  gramos), y se procede a ensayar a las temperaturas especificadas en norma y especificación de la ficha técnica del producto de 135°C, 145°C y 175°C, controlando así mismo la velocidad de 20 RPM, para el ligante PG 70 -28 en específico.





Figura 3.26 – Equipo de viscosidad Brookfield

FUENTE: PROPIA.

2. Se procede con el ensayo, teniendo las velocidades y temperaturas específicas, anotando las lecturas de viscosidad que el equipo nos provee para cada una de las temperaturas, cabe aclarar que las temperaturas de 135°C, 145°C y 175°C y la velocidad de 20 RPM son específicas para el ligante asfáltico modificado con polímero.

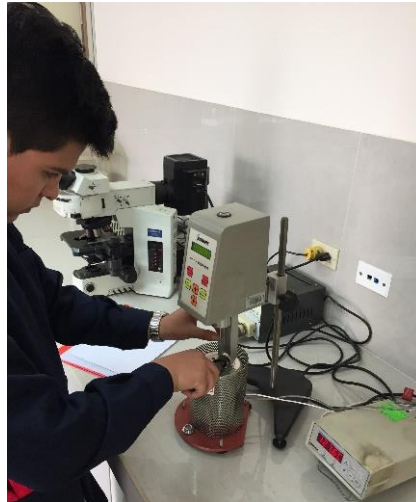


Figura 3.27 – Ensayo de Viscosidad Brookfield.

FUENTE: PROPIA.

### c) Toma de Datos

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Visc. Brookfield a 135°C	---	960 cP
Visc. Brookfield a 145°C	---	632 cP
Visc. Brookfield a 175°C	---	210 cP

Tabla 3.15–Toma de datos de la Viscosidad Brookfield

FUENTE: PROPIA

### 3.5.13. Corte Dinámico – DSR

#### a) Equipos Utilizados en la Prueba

Los equipos a utilizar para dicha prueba de laboratorio son:

- Reómetro de Corte Dinámico.
- Ligante asfáltico modificado con polímero SBS.

#### b) Procedimiento

1. El ensayo de Corte Dinámico se realiza en las tres etapas de la vida del ligante asfáltico, es decir, en el ligante original, ligante asfáltico envejecido a corto plazo (después de envejecimiento RTFOT) y ligante envejecido a largo plazo (después de envejecimiento RTFOT y PAV).



*Figura 3.28 – Reómetro de Corte Dinámico.*

FUENTE: PROPIA.

2. Para los ensayos en el ligante original y envejecido a corto plazo se utilizarán cuerpos de prueba (pastillas) de 25 mm de diámetro y para los ligantes asfálticos envejecidos a largo plazo se utilizarán cuerpos de prueba (pastillas) de 8 mm de diámetro.
3. El ligante asfáltico (caliente) en función de su condición de envejecimiento se moldea ya sea con diámetros de 25 mm y 8 mm respectivamente.



*Figura 3.29 – Muestras de Ligante Asfáltico de 25 mm.*

FUENTE: PROPIA.

4. Posteriormente se procede a programar el ensayo para la determinación del PG en el software del Reómetro de Corte Dinámico, seguidamente se procede a colocar la pastilla de 25 mm o de 8 mm respectivamente en los platos paralelos del reómetro, se realiza el seteo del Gap y luego se realiza el enrasado de la pastilla. Una vez realizados cada uno de estos pasos, se da “Start” en el software y el reómetro de corte dinámico se encargara de la determinación de los valores del Módulo Complejo ( $G^*$ ) y el Angulo de Fase ( $\delta$ ), con lo cual se determina el valor de  $G^*/\text{sen}\delta$  para el ligante original y el ligante envejecido a corto plazo, y el valor de  $G^*.\text{sen}\delta$  para el ligante envejecido a largo plazo. La menor temperatura de falla del ligante original y el ligante envejecido a corto plazo es igual a la temperatura alta del Performance Grade (PG) del ligante asfaltico modificado con polímero SBS.

### c) Toma de Datos

Los datos obtenidos en el ensayo de Corte Dinámico, dependiendo de la condición de envejecimiento vienen a ser el valor del  $G^*/\text{sen}\delta$  o  $G^*.\text{sen}\delta$ , que deberá cumplir con requisitos establecidos en la especificación.

ENSAYOS	METODO ASTM	UNIDADES	Especificaciones		RESULTADO
			Mínimo	Máximo	
<b>LIGANTE ASFALTICO ORIGINAL</b>					
TEMPERATURA DE CORTE DINAMICO	D-7175	°C	---	---	70
CORTE DINAMICO $G^*/\text{sen}\delta$ , 10 rad/s	D-7175	kPa	1	---	1.72
<b>LIGANTE DESPUES DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO - RTFOT</b>					
TEMPERATURA DE CORTE DINAMICO	D-7175	°C	---	---	70
CORTE DINAMICO $G^*/\text{sen}\delta$ , 10 rad/s	D-7175	kPa	2.2	---	5.26
<b>LIGANTE DESPUES DE ENVEJECIMIENTO A LARGO PLAZO - PAV</b>					
TEMPERATURA DE CORTE DINAMICO	D-7175	°C	---	---	22
CORTE DINAMICO $G^*.\text{sen}\delta$ , 10 rad/s	D-7175	kPa	---	5000	1400

Tabla 3.16 – Valor de PG a 70°C, obtenido del DSR.

FUENTE: PROPIA.

### 3.5.14. Envejecimiento a corto plazo – RTFOT

#### a) Equipos Utilizados en la Prueba

Los equipos a utilizar para dicha prueba de laboratorio son:

- Horno de Película fina delgada rotatoria - RTFOT.
- Ligante Asfaltico modificado con polímero SBS PG 70 -28.
- Vasos contenedores para ligantes.

**b) Procedimiento**

1. Este ensayo simula el envejecimiento que ocurre durante el proceso de producción y colocación de la mezcla asfáltica en caliente, para efectuar este ensayo se debe acondicionar el horno por un periodo mínimo de 16 horas a una temperatura de 163 °C, posterior a este periodo de acondicionamiento el horno se encontrara en condiciones para realizar el ensayo.
2. Para este ensayo se utilizaran 8 vasos de vidrio normalizados donde en cada uno de ellos se coloca 35 gramos del ligante asfaltico y se deja enfriar por un periodo aproximado de media hora a temperatura ambiente. Posteriormente se pesan los vasos y se anotan los pesos iniciales y posteriormente se colocan cada uno de estos vasos en el rack ubicado dentro del horno RTFOT.



*Figura 3.30. – Horno de película fina rotatoria*

FUENTE: PROPIA.

3. El ensayo se realiza a una temperatura de 163°C, a una presión de 50 PSI, con un flujo de aire de 4 L/min y durante un periodo de 85 minutos. Pasado este tiempo, se extraen los vasos, se dejan enfriar aproximadamente media hora y se obtienen los pesos después de realizado el envejecimiento.



Figura 3.31 – Ingreso de vasos con ligante

FUENTE: PROPIA.

**c) Toma de Datos**

El ensayo de Envejecimiento a corto plazo – RTFOT, nos permite determinar la pérdida de masa que tiene el ligante asfáltico durante el envejecimiento a corto plazo.

ENSAYOS	METODO ASTM	UNIDADES	Especificaciones		RESULTADO
			Mínimo	Máximo	
DESPUES DE ENVEJECIMIENTO RTFOT					
MASA INICIAL, DEL LIGANTE ORIGINAL					35.001
MASA DESPUES DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO					34.812
PERDIDA DE MASA	D-2872	%	---	1	-0.540

Tabla 3.17 – Pérdida de masa después de envejecimiento a corto plazo – RTFOT.

FUENTE: PROPIA.

**3.5.15. Envejecimiento a largo plazo - PAV**

**a) Equipos Utilizados en la Prueba**

Los equipos a utilizar para dicha prueba de laboratorio son:

- Vaso de Envejecimiento a Presión.
- Ligante asfáltico envejecido en el RTFOT.

**b) Procedimiento**

1. El envejecimiento PAV se realiza dentro del Vaso de envejecimiento a Presión, el cual simula el envejecimiento del ligante que se dará en la mezcla asfáltica durante su tiempo de vida en servicio, SUPERPAVE contempla que el PAV simula un envejecimiento de un tiempo aproximado de 7 – 10 años.

2. Para la ejecución de este ensayo se procede a acondicionar el Vaso de Envejecimiento a Presión a la temperatura de ensayo establecida de acuerdo a norma.



*Figura 3.32 – Ingreso a horno de Envejecimiento al vacío PAV*

FUENTE: PROPIA.

3. El ensayo se realiza a las temperaturas de 90°C (si el PG del ligante asfáltico es PG46 y PG 52), 100°C (desde PG 52 hasta PG 70) y 110°C (desde PG 70 hasta PG 82), se cuenta con un número de 10 platos, en cada uno de los platos se vierte una cantidad de 50 gramos de ligante asfáltico envejecido en el RTFOT, luego se procede a ingresar los platos en el rack dorado como se ve en la imagen anterior, y se coloca el rack en el vaso de envejecimiento a presión – PAV, seguidamente se cierra este herméticamente ajustando los pernos de cierre del vaso de envejecimiento a presión y se somete a ensayo por un periodo de 20 horas a una presión de 304.6 PSI, un vez cumplido este tiempo de envejecimiento, se procede a extraer las muestras y luego estas muestras pasan al VDO (Vacuum Degasific Oven) para extraer el aire atrapado en cada una de las muestras que fueron envejecidas, durante un tiempo de media hora a una temperatura de 170 °C. Con este ligante asfáltico envejecido a largo plazo se realizaran ensayos en el Reómetro de Corte Dinámico y en el Reómetro de Viga en Flexión.





Figura 3.33. – VDO para extraer el aire atrapado en el PAV.

FUENTE: PROPIA.

### 3.5.16. Ensayo de Viga en Flexión

#### a) Equipos Utilizados en la Prueba

- Reómetro de Flexión en Viga (BBR).
- Ligante asfáltico.
- Moldes para producción de vigas normalizadas.

#### b) Procedimiento

1. Para este ensayo se utilizara un ligante asfáltico envejecido a corto (RTFOT) y largo plazo (PAV), con el cual se procederá a moldear los cuerpos de prueba en forma de vigas normalizadas, se dejara enfriar por un tiempo de media hora para luego proceder a enrasar el excedente que queda después del moldado para luego, enfriar las vigas a la temperatura de 0°C y proceder a desmoldarlas para colocar la viga en los apoyos de la cámara de temperatura del Reómetro de Viga en Flexión.

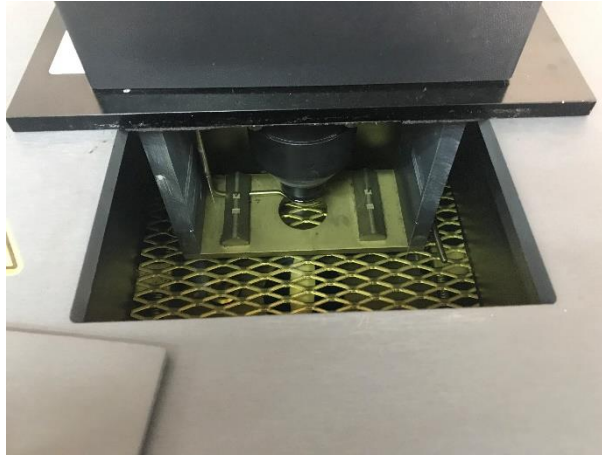


Figura 3.34 – Reómetro de Viga en Flexión – BBR.



FUENTE: PROPIA.

2. Para la ejecución del ensayo la viga debe estar adecuadamente posicionada en los apoyos y sumergida en un baño de etanol absoluto la misma que nos permite llegar a temperaturas muy bajas y nos permite hallar la temperatura baja del Grado de Performance (PG).



*Figura 3.35 – Cámara interna del Reómetro de Viga en Flexión – BBR.*

FUENTE: PROPIA.

3. El ensayo comienza a una temperatura de 0 °C y va disminuyendo de 6 °C en 6 °C por debajo de los 0 °C, hasta determinar la temperatura de falla la misma que se determina tomando en consideración que la rigidez a la Flexión (S) sea menor a 300 MPa y el Valor de m sea mayor a 0.300 a un tiempo de aplicación de carga de 60 segundos. De acuerdo a norma este ensayo se realiza a 10 grados por encima de la temperatura que se reporta como temperatura de PG debido a que existe una correlación para determinar el PG del ligante asfáltico en base a un ensayo que se ejecute en un periodo de tiempo corto. Este ensayo se va realizando por temperaturas, donde para cada temperatura es necesario realizar una calibración del equipo, por lo tanto el ensayo requiere bastante intervención y atención del operador.

### **c) Toma de Datos**

Los datos obtenidos para el Ensayo de Viga en Flexión a la temperatura baja de falla, en el Reómetro de Viga en Flexión, es:

ENSAYOS	METODO ASTM	UNIDADES	Especificaciones		RESULTADO
			Mínimo	Máximo	
TEMPERATURA DE RIGIDEZ AL DESPLAZAMIENTO	D-6648	°C	---	---	-18
RIGIDEZ AL DESPLAZAMIENTO, VALOR S, a 60 seg	D-6648	MPa	---	300	109
VALOR m	D-6648		0.300	---	0.337

Tabla 3.18 – Resultados obtenidos del Reómetro de Viga en Flexión – BBR.

FUENTE: PROPIA.

## MEZCLA ASFALTICA

### 3.5.17. Método MARSHALL

#### a) Equipos Utilizados en la Prueba

Para el siguiente ensayo de laboratorio se usaran los siguientes equipos:

- Ligante asfáltico convencional PEN 85/100 Plus.
- Ligante asfáltico modificado con polímero SBS PG 70 -28.
- Agregado seleccionado.
- Compactadora Marshall.
- Cámara de curado de mezcla asfáltica.
- Moldes para briquetas.
- Prensa Marshall.
- Cámara de Baño María.

#### b) Procedimiento

1. El método Marshall, consiste en la producción de briquetas con un peso de 1200 g aproximadamente, que contienen agregados pétreos y el ligante asfáltico, este puede ser el ligante asfáltico convencional PEN 85/100 Plus o el ligante asfáltico modificado con polímero SBS PG 70 -28.



*Figura 3.36 – Proceso De Pesado De Los Agregados Pétreos, Tanto Gruesos, Como Finos Y El Filler*

FUENTE: PROPIA.

2. Para la producción correcta de esta mezcla asfáltica se deben calentar los agregados pétreos, tanto gruesos como finos y el filler, a una temperatura entre 5°C a 10°C superior a la temperatura de mezcla especificada en la carta de viscosidad – temperatura, seguidamente se coloca el ligante asfáltico a una temperatura promedio recomendada en la carta de viscosidad – temperatura y se procede a mezclar vigorosamente hasta lograr un recubrimiento total del agregado y características de mezcla asfáltica homogénea.



*Figura 3.37 – Mezcla De Los Agregados Gruesos, Finos Y Filler, Ya Debidamente Pesados Y Calientes.*

FUENTE: PROPIA.



*Figura 3.38 – Inclusión del ligante asfáltico a la mezcla de los agregados.*

FUENTE: PROPIA.

3. Una vez obtenida la mezcla asfáltica, se procede a colocar nuestra mezcla asfáltica de acuerdo a norma por un periodo de 2 horas a temperatura de compactación especificada en la carta de viscosidad – temperatura en el horno de convección (curado o envejecimiento a corto plazo) para cada ligante asfáltico, posteriormente se procede a compactar las briquetas con los diferentes contenidos de asfalto para ambos tipos de mezcla asfáltica, es decir con el asfalto convencional y el asfalto modificado.



*Figura 3.39 – Proceso de mezcla y extracción de mezcla.*

FUENTE: PROPIA.



*Figura 3.40. – Preparación de mezcla y horno de curado.*

FUENTE: PROPIA.

4. La compactación se realiza utilizando el método Marshall, con 75 golpes por cada cara, con un martillo Marshall normado.





*Figura 3.41. – Compactación Marshall.*

FUENTE: PROPIA.



*Figura 3.42 – 75 golpes para la producción de nuestras briquetas.*

FUENTE: PROPIA.

4. Una vez realizado el proceso de compactación Marshall, se procede a hacer la extracción y se deja por un tiempo de 24 horas para que la mezcla enfríe y endurezca.



*Figura 3.43 – Obtención de briqueta método Marshall.*

FUENTE: PROPIA.



*Figura 3.44 – Briquetas obtenidas método Marshall.*

FUENTE: PROPIA.

#### DETERMINACIÓN DE ESTABILIDAD – FLUJO MARSHALL

1. Para hacer el análisis de estabilidad y flujo de las mezclas, se hace uso de la prensa Marshall, siendo la estabilidad la máxima carga que la mezcla endurecida puede aguantar, y el flujo es la deformación que se produce al aplicar dicha carga máxima.





*Figura 3.45. – Ensayo Marshall Estabilidad y Flujo.*

FUENTE: PROPIA.

2. Para el ensayo Marshall, se debe mantener nuestras briquetas en baño maría por un lapso de 30 a 40 minutos a una temperatura de 60°C para después proceder con el ensayo en la Prensa Marshall y obtener los valores de estabilidad y flujo.



*Figura 3.46. – Baño María a 60°C.*

FUENTE: PROPIA.



*Figura 3.47 – Ensayo Estabilidad – Flujo.*

FUENTE: PROPIA.

**c) Toma de Datos**

	<b>PEN 85/100 Plus</b>	<b>PG 70 -28</b>
<b>Numero de Golpes</b>	75	75
<b>Procentaje de Asfalto</b>	6.30%	6.20%
<b>Procentaje de Vacios</b>	3.00%	3.00%
<b>Densidad seca BULK (g/cm3)</b>	2.338	2.334
<b>Flujo (0.25 mm)</b>	14.0	14.1
<b>Estabilidad (kg)</b>	1382	2047
<b>Relacion Polvo/Asfalto</b>	0.87	0.86

*Tabla 3.19–Toma de datos Ensayo Marshall.*

FUENTE: PROPIA

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS**

Las producciones de las mezclas asfálticas, para ambos tipos, fueron realizadas a las mismas condiciones, como también contando con las mismas gradaciones (ASTM D 3515 Huso 5), a continuación se realizó el análisis de costos para las producciones de ambos tipos de mezclas asfálticas:

<b>ANÁLISIS DE COSTO PARA PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA</b>						
<b>Rendimiento:</b>	<b>300.00</b>	<b>m3/día</b>	<b>Costo unitario directo(1) por:</b>	<b>m3</b>	<b>S/. 211.95</b>	
			<b>Costo unitario directo(2) por:</b>	<b>m3</b>	<b>S/. 268.00</b>	
<b>MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL PEN 85/100 PLUS (1)</b>						
<b>Item</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/</b>	<b>Parcial S/</b>	<b>Sub total (1)</b>	<b>Sub total (2)</b>
<b>AGREGADOS</b>						
Piedra Chancada 1/2"	M3	0.3250	29.00	9.43		
Piedra Chancada 3/8"	M3	0.2600	37.50	9.75		
Arena Chancada	M3	0.7020	30.50	21.41		
Filler	M3	0.0130	20.00	0.26		
<b>LIGANTE ASFÁLTICO</b>						
Ligante asfaltico PEN 85/100 Plus	GLS	29.5000	5.80	171.10	211.95	
<b>MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADO CON POLIMERO SBS PG 70 -28 (2)</b>						
<b>AGREGADOS</b>						
Piedra Chancada 1/2"	M3	0.3250	29.00	9.43		
Piedra Chancada 3/8"	M3	0.2600	37.50	9.75		
Arena Chancada	M3	0.7020	30.50	21.41		
Filler	M3	0.0130	20.00	0.26		
<b>LIGANTE ASFÁLTICO</b>						
Ligante asfaltico PG 70 -28	GLS	29.5000	7.70	227.15		268.00

*Tabla 3.20 : APU para la producción de las mezclas asfálticas.*

FUENTE: PROPIA

**3.5.18. Gravedad Específica Máxima – Rice**

**a) Equipos Utilizados en la Prueba**

Para el siguiente ensayo de laboratorio se usaran los siguientes equipos:

- Mezcla asfáltica convencional PEN 85/100.
- Mezcla asfáltica modificado con polímero SBS PG 70 -28.
- Horno de Convección.
- Matraz Kitasato de volumen suficiente para el volumen de la mezcla asfáltica de la cual se obtendrá el Rice.
- Bomba de vacíos.
- Plancha Vibradora.

#### **b) Procedimiento**

1. Se trabaja en un matraz Kitasato donde se obtendrá el peso seco de esta, después de esto se llena el matraz con agua hasta un nivel conocido, para proseguir con el pesaje de esta última, a este proceso se le conoce como el proceso de calibración de nuestro matraz kitasato (a 25 °C). En el matraz vacío se procede a colocar aproximadamente 1500 gramos de mezcla asfáltica (de acuerdo a nuestro Tamaño Máximo Nominal TMN  $\frac{1}{2}$ "") donde luego se llenara de agua hasta que el nivel de agua sobrepase ligeramente el nivel de la mezcla asfáltica dentro del matraz, luego de esto se procede a instalar la bomba de vacíos y se procede a extraer el aire atrapado dentro de nuestra mezcla + agua a una presión de 30 mmHg durante un tiempo de 15 minutos (según norma ASTM) por último se termina de llenar el matraz hasta el nivel indicado en el momento de la calibración del matraz y se obtiene este último peso del matraz + agua + mezcla..



*Figura 3.48 – Calibración del Matraz.*

FUENTE: PROPIA



Figura 3.49 – Vertimiento de la mezcla dentro del matraz.

FUENTE: PROPIA



Figura 3.50 – Extracción del aire atrapado, a 30 mmHg durante 20 min.

FUENTE: PROPIA

2. El Rice se obtiene mediante la siguiente formula.

$$\gamma = \frac{A}{A - (C - B)}$$

Donde:



- $\gamma$ : Densidad máxima seca (rice).
- A: Peso muestra seca al aire.
- B: Peso de matraz + agua.
- C: Peso de matraz + agua + mezcla.

### c) Toma de Datos

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Gravedad Especifica Maxima - RICE (g/cm3)	2.412	2.407

Tabla 3.21–Toma de datos Peso Específico Máximo (Rice).

FUENTE: PROPIA

### 3.5.19. Densidad Aparente de la Mezcla Asfáltica

#### a) Equipos Utilizados en la Prueba

- Briquetas de Mezcla asfáltica producida de acuerdo a diseño de mezclas, de ambo tipos, convencional PEN 85/100 y modificado con polímero SBS PG 70 -28.
- Balanza.

#### b) Procedimiento

1. Para hallar la densidad de todas nuestras briquetas preparadas para el diseño, tres por cada contenido de ligante, de todas nuestras muestras se obtienen los pesos secos siendo estos nuestros primeros datos, para luego sumergirlas en agua 5 minutos y una vez saturadas, pesarlas sumergidas, para después extraerlas del agua y pesarlas previo un secado superficial con una franela humeda, de donde se obtendrá un tercer peso saturado superficialmente seco, de donde la densidad se obtendrá mediante la siguiente formula.





*Figura 3.51 – Sumergimiento de briquetas para su saturación.*

FUENTE: PROPIA



*Figura 3.52 – Obtención del Peso Sumergido.*

FUENTE: PROPIA



Figura 3.53 – Obtención de Peso Superficialmente Seco.

FUENTE: PROPIA

$$Densidad = \frac{Peso\ Seco}{Peso\ Saturado\ Sup.\ Seco - Peso\ Sumergido}$$

**c) Toma de Datos**

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Densidad del Especimen (g/cm3)	2.338	2.334

Tabla 3.22–Toma de datos Densidad de Mezcla.

FUENTE: PROPIA

**DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS**

**HAMBURG WHEEL – TRACK**

**a) Equipos Utilizados en la Prueba**

Para el siguiente ensayo de laboratorio se usaran los siguientes equipos:

- Equipo de laboratorio Hamburg Wheel – Track.
- Compactador giratorio SUPERPAVE.
- Mezcla asfáltica de acuerdo a diseño.

**b) Procedimiento**

1. El ensayo de la rueda de Hamburgo evalua la resistencia a la deformación permanente de las mezclas asfálticas compactadas.
2. Para la compactación de estas mezclas, se realizan utilizando el Compactador Giratorio SUPERPAVE debido a que los cuerpos de



prueba son de 6" de diámetro y 2" de altura. (denominadas como A y B para la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 y 1 y 2 para la mezcla asfáltica convencional PEN85/100 Plus).

Esta compactación se realiza por medio del compactador giratorio como se indicó, donde tenemos la capacidad de controlar las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica, para lo cual utilizamos un poco más de 2 kilogramos de mezcla asfáltica de acuerdo a la Densidad Máxima Medida (Rice) obtenida, a una presión de 600 pascales, un grado de inclinación de 20.20 radianes y con un porcentaje de vacíos entre 6% - 8%, como se observa a continuación.



*Figura 3.54 – Vertimiento de mezcla dentro del molde de compactación SUPERPAVE.*

FUENTE: PROPIA.



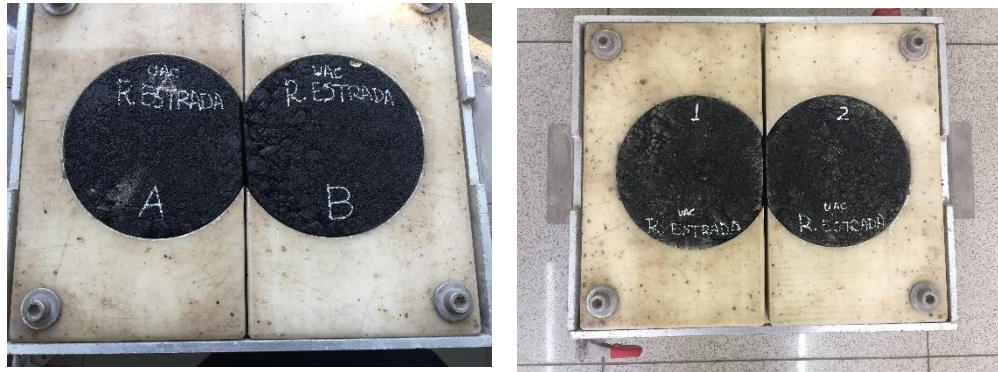
*Figura 3.55 – Colocado del molde con muestra en el compactador giratorio.*

FUENTE: PROPIA.



*Figura 3.56 – Briqueta compactada obtenida.*

FUENTE: PROPIA.



*Figura 3.57 – Cuerpos de Prueba Resistencia a Deformación Permanente.*

FUENTE: PROPIA.

3. Una vez obtenida los cuerpos de prueba (2 para cada tipo de mezcla asfáltica) se procede a colocarlos en la máquina de la rueda de Hamburgo, donde se somete a 20000 pasadas según norma, con una profundidad máxima de ahuellamiento de 12.5 mm, el ensayo se realiza sumergido en agua a una temperatura de 50°C.



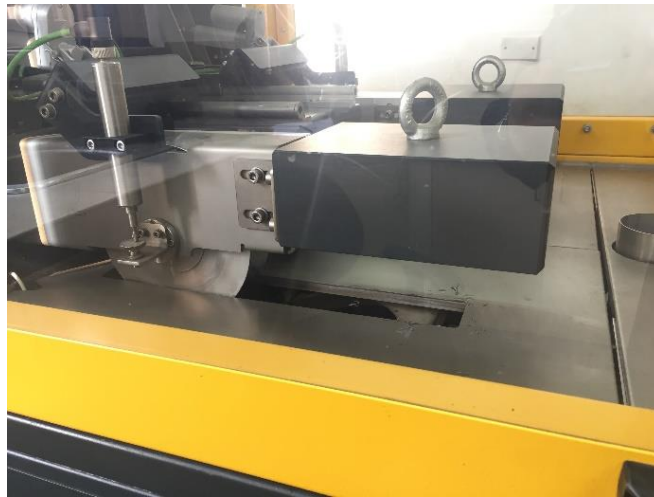
*Figura 3.58 – Colocación de cuerpos de prueba al Hamburg Wheel track.*

FUENTE: PROPIA.



*Figura 3.59. – Baño María de agua a 50°C.*

FUENTE: PROPIA.



*Figura 3.60. – Ensayo Hamburg Wheel-track.*

FUENTE: PROPIA.

4. Una vez culminado los 20000 ciclos se procede al análisis de datos donde un ahuellamiento mayor a 12.5 mm se cataloga como que el cuerpo de prueba no cumplió con el ensayo, por lo tanto se deberá rediseñar la mezcla asfáltica, ya que podría estar fallando por muchos factores, como gradación de la mezcla, micro y macro textura del agregado, tipo de ligante, contenido de ligante, o alguna otra en especial.





Figura 3.61. – Ingreso de datos al software del Hamburg Wheel track.

FUENTE: PROPIA.



Figura 3.62. – Tabla de datos del Hamburg Wheel track.

FUENTE: PROPIA.



Figura 3.63 – Resultados de Hamburg Wheel Track.

FUENTE: PROPIA.

**c) Toma de Datos**

	<b>PEN 85/100 Plus</b>	<b>PG 70 -28</b>
<b>Densidad maxima teorica</b>	2.412	2.407
<b>Procentaje de Vacios</b>	7.00%	6.80%
<b>Contenido de asfalto</b>	6.30%	6.20%
<b>N° de pasadas - Programada</b>	20000	20000
<b>N° de pasadas - Logradas</b>	17472	20000
<b>Profundidad de Huella</b>	12.50 mm	3.68 mm

*Tabla 3.23–Toma de datos Rueda de Hamburgo (1).*

FUENTE: PROPIA

	<b>PEN 85/100 Plus</b>	<b>PG 70 -28</b>
<b>Densidad maxima teorica</b>	2.412	2.407
<b>Procentaje de Vacios</b>	7.20%	7.00%
<b>Contenido de asfalto</b>	6.30%	6.20%
<b>N° de pasadas - Programada</b>	20000	20000
<b>N° de pasadas - Logradas</b>	13789	20000
<b>Profundidad de Huella</b>	12.50 mm	3.89 mm

*Tabla 3.24 - Toma de datos Rueda de Hamburgo (2).*

FUENTE: PROPIA

**DETERMINACION DE LA VIDA A LA FATIGA DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTAS SUJETAS A CARGAS REPETITIVAS****a) Equipos Utilizados en la Prueba**

Para el siguiente ensayo de laboratorio se usaran los siguientes equipos:

- Maquina Universal de Ensayos - UTM.
- Kit de ensayo de fatiga en viga de 4 puntos.
- Vigas de mezcla asfáltica de acuerdo a norma.
- Compactador Electromecánico de placas.

**b) Procedimiento**

1. Para el ensayo de resistencia a la fatiga en viga de 4 puntos, que fue producida placas de ambos tipos de mezclas asfálticas, a partir de las cuales se procedió a cortar vigas con dimensiones estandarizadas de 5cmx6.3cm y 38cm de largo, posteriormente las vigas son ingresadas en la cámara climática de la Maquina Universal de Ensayos – UTM donde de acondiciona los cuerpos de prueba por un periodo mínimo de 4 horas, una vez condicionados los cuerpos de prueba se somete

a ensayo de resistencia a la fatiga en viga de 4 puntos hasta alcanzar el criterio de falla de acuerdo a norma (método de deformación controlada).



*Figura 3.64. – Equipo de resistencia a fatiga 4 puntos de ensayo.*

FUENTE: PROPIA.

2. El ensayo de resistencia a la fatiga en viga de 4 puntos se realiza a la temperatura de 20°C (establecida por norma) y la carga es auto calculada por la UTM en función de la deformación a la cual se someterá el ensayo, que podría ser variable desde 250 hasta 750 micro deformación (micro strains) (dependiendo del ligante asfáltico utilizado para la mezcla).



*Figura 3.65. – Ingreso de viga a cámara de fatiga.*

FUENTE: PROPIA.

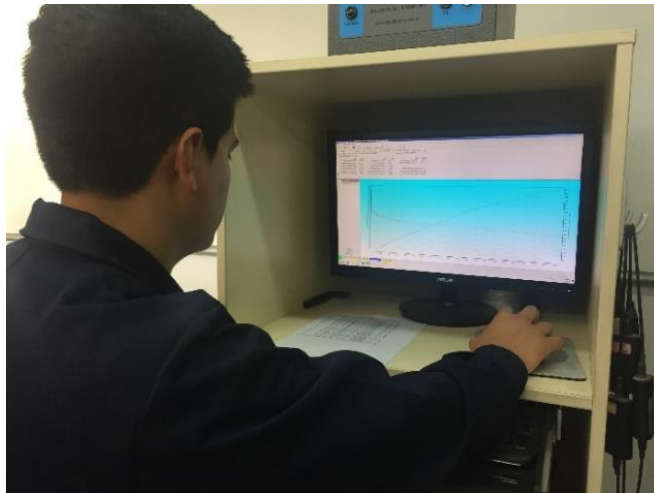




*Figura 3.66. – Falla por fatiga de viga.*

FUENTE: PROPIA.

3. Todo este proceso se analiza y materializa creando un gráfico mediante el software de la UTM para el ensayo de resistencia a la fatiga, como se ve a continuación:



*Figura 3.67. – Procesamiento de datos, cámara de fatiga.*

FUENTE: PROPIA.

## c) Toma de Datos

(1)	PEN 85/100 PLUS	PG 70 -28
<b>RESISTENCIA A LA FATIGA - 4 PUNTOS</b>		
Porcentaje de vacios de mezcla (%)	7.00	7.10
coeficiente de Possion	0.35	0.35
N° DE CICLOS RECIBIDOS	183840	3202988

Tabla 3.25–Toma de datos Prueba de Fatiga 4 puntos (1).

FUENTE: PROPIA

(2)	PEN 85/100 PLUS	PG 70 -28
<b>RESISTENCIA A LA FATIGA - 4 PUNTOS</b>		
Porcentaje de vacios de mezcla (%)	7.00	7.10
coeficiente de Possion	0.35	0.35
N° DE CICLOS RECIBIDOS	188605	3285992

Tabla 3.26 - Toma de datos Prueba de Fatiga 4 puntos (2).

FUENTE: PROPIA

## 3.6. Procedimientos de Análisis de Datos

## AGREGADOS

## 3.6.1. Análisis Granulométrico

## a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:

Dentro del ensayo de granulometría de agregados gruesos y agregados finos a utilizar, el procesamiento se limita a calcular los porcentajes que pasa en cada una de las mallas determinadas para este ensayo. Con las granulometrías determinadas se procede a establecer una mezcla de los agregados utilizados, la misma que deberá encajar dentro de los parámetros del huso granulométrico propuesto para esta investigación (ASTM D 3515 huso 5).

**b) Diagramas o Tablas:**

TAMIZ	MEZCLAS CERRADAS								
	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO								
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16
GRADACIONES PARA MEZCLAS DE AGREGADOS (GRUESO, FINO Y FILLER)									
2 1/2"	100	---	---	---	---	---	---	---	---
2"	90 - 100	100	---	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	---	90 - 100	100	---	---	---	---	---	---
1"	60 - 80	---	90 - 100	100	---	---	---	---	---
3/4"	---	56 - 80	---	90 - 100	100	---	---	---	---
1/2"	35 - 65	---	56 - 80	---	90 - 100	100	---	---	---
3/8"	---	---	---	56 - 80	---	90 - 100	100	---	---
N°4	17 - 47	23 - 53	29 - 59	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100	---	100
N°8	10 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100	---	95 - 100
N°16	---	---	---	---	---	---	40 - 80	---	85 - 100
N°30	---	---	---	---	---	---	35 - 65	---	70 - 95
N°50	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40	---	45 - 75
N°100	---	---	---	---	---	---	3 - 20	---	20 - 40
N°200	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10	---	9 - 20
ASFALTO, PORCENTAJE CON RESPECTO AL PESO TOTAL DE LA MEZCLA									
	2 - 7	3 - 8	3 - 9	4 - 10	4 - 11	5 - 12	6 - 12	7 - 12	8 - 12

*Tabla 3.27–Distribución Granulométrica ASTM D 3515 huso 5.*

FUENTE: PROPIA

Tabla 3.28 - ANALISIS GRANULOMETRICO PARA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL PEN 85/100 Plus



EXPEDIENTE MAC  
010-2017-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE DISEÑO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO : UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
UBICACIÓN : CUSCO  
SOLICITANTE : RAFAEL ESTRADA ESCALANTE  
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE  
FECHA : 21-03-17

DETALLE DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN: CANTERA SIN IDENTIFICACIÓN PRESENTACIÓN: sacos de polipropileno  
DESCRIPCIÓN : MEZCLA DE AGREGADOS CANTIDAD : 50 kg aprox. cu

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO					
MALLAS					
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACION ASTM D-3515 - D-5
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050			100.0	100 100
1/2"	12.700	8.4	8.4	91.6	90 100
3/8"	9.525	20.8	29.3	70.7	
1/4"	6.350	8.6	37.8	62.2	
# 4	4.760	5.1	43.0	57.0	44 74
# 6	3.360	10.5	53.4	46.6	
# 8	2.380	8.9	62.3	37.7	28 58
# 10	2.000	3.4	65.7	34.3	
# 16	1.190	8.3	74.0	26.0	
# 20	0.840	3.9	77.9	22.1	
# 30	0.590	3.4	81.3	18.7	
# 40	0.426	3.0	84.3	15.7	
# 50	0.297	2.6	86.9	13.1	5 21
# 80	0.177	3.8	90.7	9.3	
# 100	0.149	1.2	91.9	8.1	
# 200	0.074	3.3	95.2	4.8	2.0 10
< # 200	---	4.8	100.0	0.0	

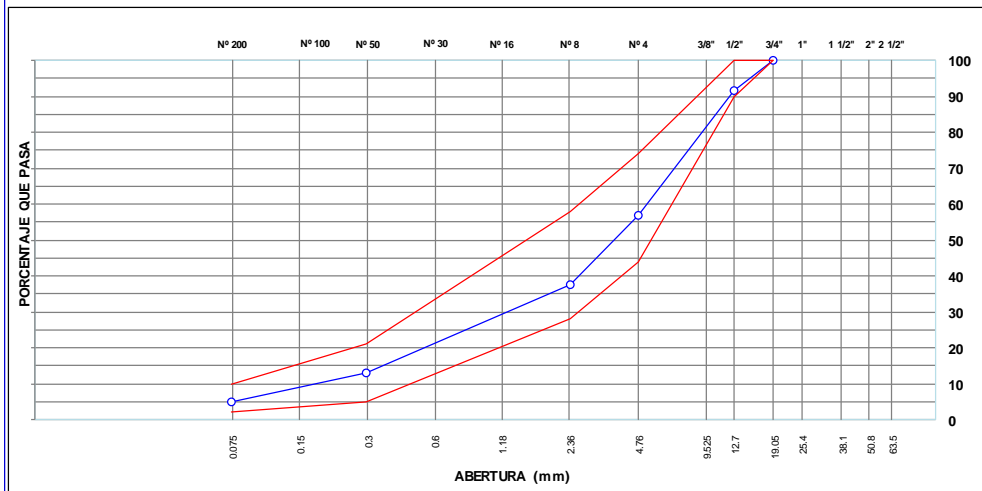
PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS

PIEDRA CHANCADA 1/2"	25.0	%
PIEDRA CHANCADA 3/8"	20.0	%
ARENA CHANCADA	54.0	%
CAL HIDRATADA	1.0	%
LIMITE PLASTICO	NP	
LIMITE LIQUIDO	NP	

ESPECIFICACIONES

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ASTM D-3515 PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

CURVA GRANULOMÉTRICA



*Hector Huapaya*

Hector Huapaya  
Laboratorista

*Wendy Herencia*

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Fecha de report Lima, 13 de abril del 2017

Tabla 3.29 - ANALISIS GRANULOMETRICO PARA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBS BETUTEC PG 70 -28.



EXPEDIENTE MAC  
011-2017-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE DISEÑO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO : UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
UBICACIÓN : CUSCO  
SOLICITANTE : RAFAEL ESTRADA ESCALANTE  
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE  
FECHA : 21-03-17

DETALLE DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN: CANTERA SIN IDENTIFICACIÓN PRESENTACIÓN: sacos de polipropileno  
DESCRIPCIÓN : MEZCLA DE AGREGADOS CANTIDAD : 50 kg aprox. c/u

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO						
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACION ASTM D-3515 - D-5	
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050			100.0	100	100
1/2"	12.700	8.4	8.4	91.6	90	100
3/8"	9.525	20.8	29.3	70.7		
1/4"	6.350	8.6	37.8	62.2		
# 4	4.760	5.1	43.0	57.0	44	74
# 6	3.360	10.5	53.4	46.6		
# 8	2.380	8.9	62.3	37.7	28	58
# 10	2.000	3.4	65.7	34.3		
# 16	1.190	8.3	74.0	26.0		
# 20	0.840	3.9	77.9	22.1		
# 30	0.590	3.4	81.3	18.7		
# 40	0.426	3.0	84.3	15.7		
# 50	0.297	2.6	86.9	13.1	5	21
# 80	0.177	3.8	90.7	9.3		
# 100	0.149	1.2	91.9	8.1		
# 200	0.074	3.3	95.2	4.8	2	10
< # 200	---	4.8	100.0	0.0		

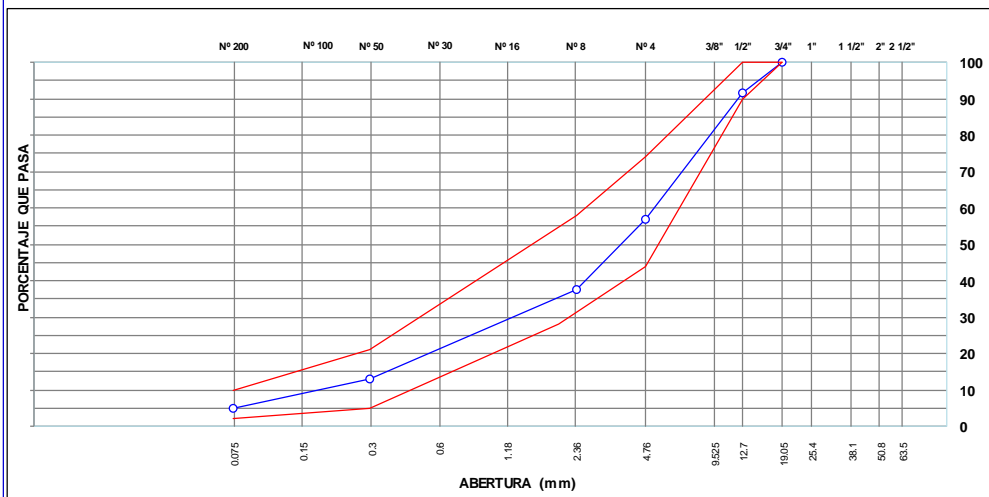
**PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS**

PIEDRA CHANCADA 1/2"	25.0 %
PIEDRA CHANCADA 3/8"	20.0 %
ARENA CHANCADA	54.0 %
CAL HIDRATADA	1.0 %
LIMITE PLASTICO	NP
LIMITE LIQUIDO	NP

**ESPECIFICACIONES**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ASTM D-3515 PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

CURVA GRANULOMÉTRICA



*Hector Huapaya*  
Hector Huapaya  
Laboratorista

*Wendy Herencia*  
Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Fecha de repoi Lima, 13 de abril del 2017

**c) Análisis de la Prueba:**

La gradación de la mezcla asfáltica determinada tanto para la mezcla asfáltica convencional PEN85/100 Plus como para la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS PG 70 -28 se encaja perfectamente dentro de las fajas de control establecidas por la gradación ASTM D 3515 huso 5.

Los agregados seleccionados de la cantera Supermix, mezclados en las proporciones adecuadas determinadas en este trabajo se encuadran perfectamente dentro del huso granulométrico seleccionado para esta investigación.

**3.6.2. Humedad en los agregados****a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:**

Para encontrar la humedad de nuestros agregados, en primer lugar se obtiene un peso inicial por cada tipo de agregado el cual fue registrado, luego se ingresó al horno durante 24 horas a 110°C cuando ya el peso secado al horno se vuelve constante, entonces se registra dicho peso, para luego procesar los datos mediante la fórmula establecida en el ítem b (Diagramas o Tablas) mostrado líneas más abajo, obteniéndose con esto el porcentaje de humedad del agregado.

CONTENIDO DE HUMEDAD	ENSAYO	
	1	2
A) Peso Tara	16g.	16g.
B) Peso de Tara + Mat.Humedo gr.	139.3g.	132.9g.
C) Peso de Tara + Mat.Seco gr.	116.7g.	112.9g.
D) Contenido de Humedad %	16%	14%

Tabla 3.30– Toma de datos y análisis de Humedad.

FUENTE: PROPIA

**b) Diagramas o Tablas:**

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{PS - PSh}{PS} \times 100$$

Donde:



- PS = Peso Seco del agregado.
- PSh = Peso Húmedo del agregado.

**c) Análisis de la Prueba:**

Este resultado no tiene influencia en el diseño de mezcla, por lo tanto solo es representativo.

**3.6.3. Equivalente de Arena****a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:**

Con los datos obtenidos en el ensayo de Equivalente de Arena (lectura inicial y final) se calcula el equivalente de arena como la relación de la lectura final entre la lectura inicial multiplicado por 100.

	ENSAYO		PROMEDIO
	1	2	
Hora de Inicio de Saturación			
Hora de Final de Saturación			
Hora de Inicio de Decantación			
Hora de Final de Decantación			
A) Lectura inicial	5.9	6.0	
B) Lectura Final	4.0	4.0	
Equivalente de Arena $((B / A) * 100)$	68	67	68

Tabla 3.31–Procesamiento de Equivalente de arena.

FUENTE: PROPIA

**b) Diagramas o Tablas:**

Al final de los desarrollos y procesamiento de los ensayos se encuentran las tablas 3.32 y 3.33, donde se exponen los datos hallados para cada ensayo realizado.

**c) Análisis de la Prueba:**

En este proceso la cantidad de arcillas encontrada dentro de nuestro agregado se encuentra dentro del rango permitido por la especificación técnica para mezclas asfáltica en caliente, es importante tener mucho cuidado con arenas que presentan equivalentes de arena bajos ya que la presencia de arcillas expansivas en la mezcla asfáltica puede traer

serias consecuencias en el comportamiento de la mezclas asfálticas induciendo a la formación de fisuras.

**3.6.4. Gravedad Específica**

**a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:**

Para este proceso se seleccionó material pasante la malla N°4, con el cual se trabajó, siguiendo el proceso explicado en el punto 3.5.4, la gravedad especifica es la relación entre la densidad seca y la densidad humedad después ingresando los valores requeridos a formula y así determinar nuestro valor de Gs.

**b) Diagramas o Tablas:**

$$Gs = \frac{A}{(B + S - C)}$$

Donde:

- A = Masa del agregado seco al horno.
- B = Masa de la fiola + agua.
- C = Masa de la fiola + agua + agregado.
- S = Masa del agregado natural.

**6.- GRAVEDAD ESPECIFICA**      A

AGREGADO FINO	ENSAYO		PROMEDIO
	1	2	
A) Peso Material S S Seco(en el aire) gr.	500		
B) Peso de Fiola gr.	170.63		
C) Peso de Fiola + Material (B+A) gr.			
D) Peso de Material + Fiola + Agua gr.	983.7		
E) Peso del Agua (D-C)			
F) Peso de Material Seco gr.	492.32		
G) Volumen de la fiola			
P.E Bulk (base seca) (F / (G-E))			2.634
P.E Bulk(base saturada) (G / (A-E))			2.625
P.E Aparente.(base seca) (F / ((500-E)-(500-F))			2.747
% Absorción ((A-F) / F*100)			1.6

Tabla 3.32–Procesamiento de Gravedad Específica.

FUENTE: PROPIA



**c) Análisis de la Prueba:**

El valor de la gravedad específica que se obtuvo se encuentra dentro del promedio esperado para agregados de las regiones de sierra del Perú. Este dato es importante para la determinación de la gravedad específica de la mezcla de los agregados y para nuestro diseño de mezcla correspondiente.



Tabla 3.33 - ANALISIS PARA MEZCLA ASFALTICA CON LIGANTE CONVENCIONAL PEN 85/100 Plus



EXPEDIENTE MAC  
010-2017-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

SOLICITANTE : RAFAEL ESTRADA ESCALANTE  
UBICACIÓN : CUSCO  
PROYECTO : UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE  
FECHA DE RECEPCIÓN : 21-03-17

N° BRIQUETAS	1	1-A	1-B*	2	2-A	2-B*	3	3-A	3-B*	4	4-A	4-B*	5	5-A	5-B*
1 % C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0
2 % A. GRUESO (TMN 1/2) EN PESO DE LA MEZCLA	23.75	23.75	23.75	23.63	23.63	23.63	23.50	23.50	23.50	23.38	23.38	23.38	23.25	23.25	23.25
3 % A. GRUESO (TMN 3/8") EN PESO DE LA MEZCLA	19.00	19.00	19.00	18.90	18.90	18.90	18.80	18.80	18.80	18.70	18.70	18.70	18.60	18.60	18.60
4 % A. FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA	51.30	51.30	51.30	51.03	51.03	51.03	50.76	50.76	50.76	50.49	50.49	50.49	50.22	50.22	50.22
5 % FILLER (MÍNIMO PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93
6 PESO ESPECIFICO DEL C.A. APARENTE	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016
7 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (TMN 1/2")	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628
8 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (TMN 3/8")	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620
9 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO FINO CHANCADO	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589
10 PESO ESPECIFICO DEL FILLER APARENTE	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
11 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	1142.4	1131.1	1120.9	1161.5	1134.8	1136.8	1160.3	1140.2	1145.9	1172.3	1144.8	1136.7	1164.5	1158.3	1145.1
12 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	1143.6	1132.9	1122.4	1162.5	1136.2	1137.9	1161.1	1141.2	1146.8	1172.8	1145.5	1137.5	1165.0	1158.8	1145.6
13 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	651.3	643.5	636.0	664.5	647.7	649.2	665.1	653.5	655.8	673.4	658.4	653.1	671.5	666.5	659.8
14 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	492.3	489.4	486.4	498.0	488.5	488.7	496.0	487.7	491.0	499.4	487.1	484.4	493.5	492.3	485.8
15 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.321	2.311	2.304	2.332	2.323	2.326	2.339	2.338	2.334	2.347	2.350	2.347	2.360	2.353	2.357
16 PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm³)- ASTM D 2726	2.314	2.304	2.297	2.325	2.316	2.319	2.332	2.331	2.327	2.340	2.343	2.340	2.353	2.346	2.350
17 PESO ESPECIFICO MÁXIMO -ASTM D 2041	2.462	2.462	2.462	2.443	2.443	2.443	2.423	2.423	2.423	2.404	2.404	2.404	2.386	2.386	2.386
18 % VACIOS - ASTM D 3203	5.7	6.1	6.4	4.5	4.9	4.8	3.4	3.5	3.7	2.4	2.3	2.4	1.1	1.4	1.2
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604
20 V.M.A. (%)	15.3	15.7	15.9	15.4	15.7	15.6	15.6	15.6	15.7	15.7	15.6	15.7	15.7	16.0	15.8
21 % VACIOS LLENADOS CON C.A.	62.7	61.1	59.7	70.8	68.8	69.2	78.2	77.6	76.4	84.7	85.3	84.7	93.0	91.3	92.4
22 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.661	2.661	2.661	2.660	2.660	2.660	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.656	2.656	2.656
23 ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
24 % ASFALTO EFECTIVO	4.20	4.20	4.20	4.73	4.73	4.73	5.27	5.27	5.27	5.78	5.78	5.78	6.28	6.28	6.28
25 FLUJO (0.01pulgada)	12.0	12.0	11.0	12.0	12.0	13.0	13.0	13.0	14.0	14.0	15.0	15.0	16.0	16.0	15.0
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1335	1306	1369	1454	1504	1538	1581	1496	1475	1327	1369	1284	1073	1115	1073
27 FACTOR DE ESTABILIDAD (TABLA)	1.09	1.09	1.09	1.04	1.09	1.09	1.04	1.09	1.09	1.04	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
28 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	1455	1423	1492	1512	1640	1677	1644	1631	1608	1380	1492	1400	1169	1216	1169

OBSERVACIONES :

ASFALTO 85/100 PLUS

Hector Huapaya  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica



Tabla 3.34 - ANALISIS PARA MEZCLA ASFALTICA CON LIGANTE MODIFICADO CON POLIMERO BETUTEC PG 70 -28.



EXPEDIENTE MAC  
011-2017-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

SOLICITANTE : RAFAEL ESTRADA ESCALANTE  
UBICACIÓN : CUSCO  
PROYECTO : UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE  
FECHA DE RECEPCIÓN : 21-03-17

N° BRIQUETAS	1	1-A	1-B*	2	2-A	2-B*	3	3-A	3-B*	4	4-A	4-B*	5	5-A	5-B*
1 % C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0
2 % A. GRUESO (TMN 1/2) EN PESO DE LA MEZCLA	23.75	23.75	23.75	23.63	23.63	23.63	23.50	23.50	23.50	23.38	23.38	23.38	23.25	23.25	23.25
3 % A. GRUESO (TMN 3/8") EN PESO DE LA MEZCLA	19.00	19.00	19.00	18.90	18.90	18.90	18.80	18.80	18.80	18.70	18.70	18.70	18.60	18.60	18.60
4 % A. FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA	51.30	51.30	51.30	51.03	51.03	51.03	50.76	50.76	50.76	50.49	50.49	50.49	50.22	50.22	50.22
5 % FILLER (MÍNIMO PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93
6 PESO ESPECIFICO DEL C.A. APARENTE	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016
7 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (TMN 1/2")	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628
8 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (TMN 3/8")	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620
9 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO FINO CHANCADO	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589
10 PESO ESPECIFICO DEL FILLER APARENTE	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
11 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	1213.7	1216.3	1214.6	1220.5	1224.6	1219.8	1260.1	1244.0	1230.5	1243.7	1227.0	1223.3	1233.0	1243.4	1223.6
12 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	1218.0	1220.8	1220.5	1225.2	1228.0	1223.9	1261.7	1245.5	1231.3	1244.6	1228.2	1224.8	1233.9	1244.3	1224.2
13 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	692.6	694.4	695.0	700.2	699.9	700.0	723.5	713.2	705.3	714.7	704.6	702.4	709.8	714.7	704.4
14 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	525.4	526.4	525.5	525.0	528.1	523.9	538.2	532.3	526.0	529.9	523.6	522.4	524.1	529.6	519.8
15 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.310	2.311	2.311	2.325	2.319	2.328	2.341	2.337	2.339	2.347	2.343	2.342	2.353	2.348	2.354
16 PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm³)- ASTM D 2726	2.303	2.304	2.304	2.318	2.312	2.321	2.334	2.330	2.332	2.340	2.336	2.335	2.346	2.341	2.347
17 PESO ESPECIFICO MÁXIMO -ASTM D 2041	2.451	2.451	2.451	2.432	2.432	2.432	2.413	2.413	2.413	2.397	2.397	2.397	2.380	2.380	2.380
18 % VACIOS - ASTM D 3203	5.7	5.7	5.7	4.4	4.6	4.3	3.0	3.2	3.1	2.1	2.3	2.3	1.1	1.3	1.1
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604
20 V.M.A. (%)	15.7	15.7	15.7	15.6	15.8	15.5	15.5	15.6	15.6	15.7	15.9	15.9	16.0	16.1	15.9
21 % VACIOS LLENADOS CON C.A.	63.7	63.7	63.7	71.8	70.9	72.3	80.6	79.5	80.1	86.6	85.5	85.5	93.1	91.9	93.1
22 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.647	2.647	2.647	2.647	2.647	2.647	2.646	2.646	2.646	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648
23 ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
24 % ASFALTO EFECTIVO	4.39	4.39	4.39	4.90	4.90	4.90	5.42	5.42	5.42	5.90	5.90	5.90	6.40	6.40	6.40
25 FLUJO (0.01pulgada)	12.0	11.0	10.0	12.0	12.0	13.0	14.0	14.0	13.0	14.0	15.0	15.0	16.0	16.0	16.0
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	2228	2131	2156	2194	2283	2215	2300	2215	2173	2046	2025	1919	1708	1691	1699
27 FACTOR DE ESTABILIDAD (TABLA)	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.93	0.96	0.96	0.96	0.96	1.00	0.96	0.96	1.00
28 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	2139	2046	2070	2107	2192	2127	2139	2127	2086	1964	1944	1919	1639	1623	1699

OBSERVACIONES :

BETUTEC PG 70 - 28

Hector Huapaya  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

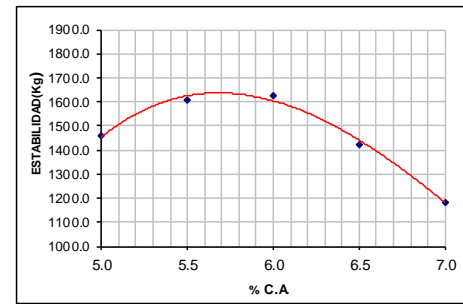
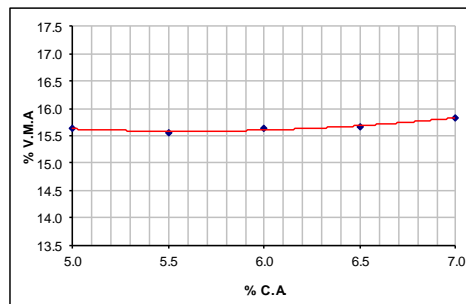
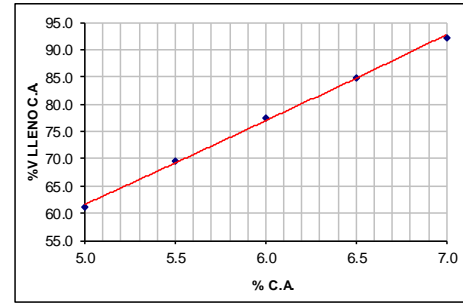
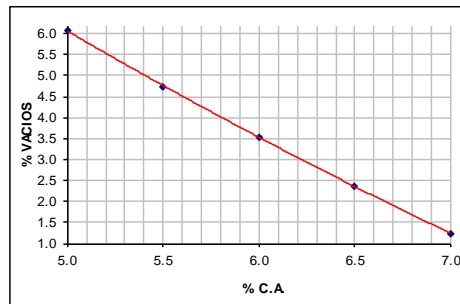
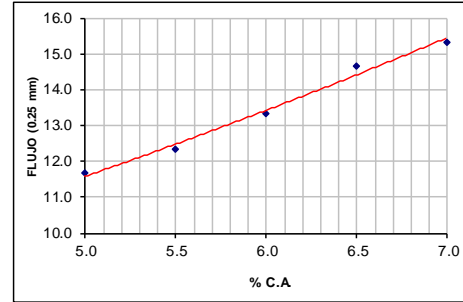
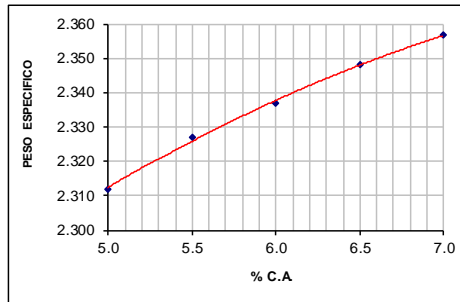
Tabla 3.35 - ANALISIS DE PROPIEDADES VOLUMETRICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA CON LIGANTE CONVENCIONAL PEN 85/100 Plus



EXPEDIENTE MAC  
010-2017-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

SOLICITANTE : RAFAEL ESTRADA ESCALANTE  
UBICACIÓN : CUSCO  
PROYECTO : UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE  
FECHA DE RECEPCIÓN : 21-03-17



OBSERVACIONES:  
ASFALTO 85/100 PLUS

*Huapaya*  
Hector Huapaya  
Laboratorista

*Wendy Herencia*  
Wendy Herencia  
Jefe del Area Técnica



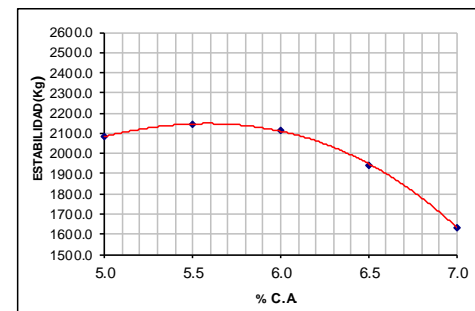
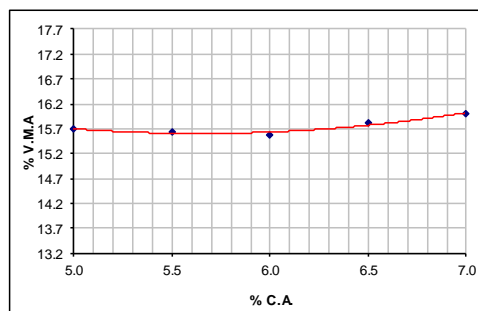
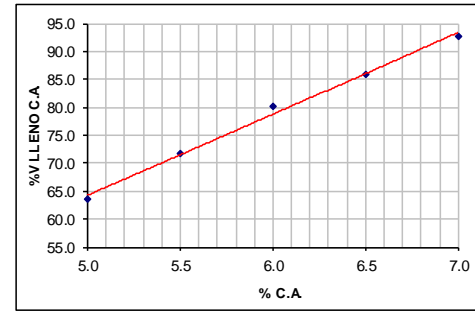
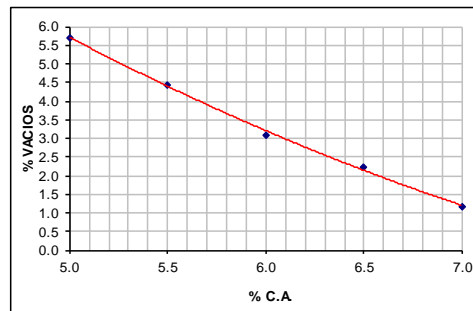
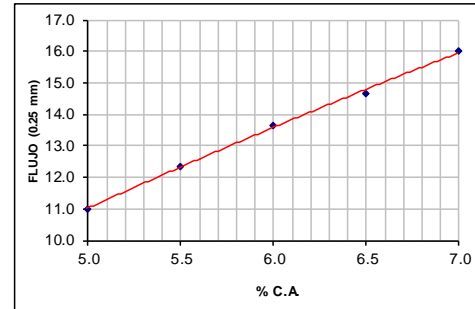
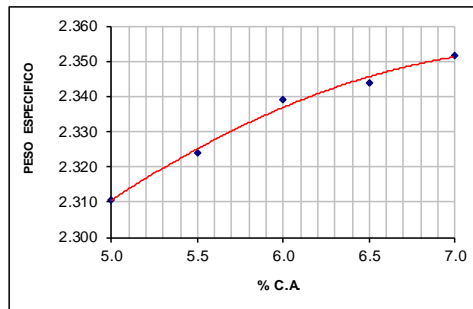
Tabla 3.36 - ANALISIS DE PROPIEDADES VOLUMETRICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA CON LIGANTE MODIFICADO CON POLIMERO SBS BETUTEC PG 70 -28.



EXPEDIENTE MAC  
011-2017-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

SOLICITANTE : RAFAEL ESTRADA ESCALANTE  
UBICACIÓN : CUSCO  
PROYECTO : UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE  
FECHA DE RECEPCIÓN : 21-03-17



OBSERVACIONES:  
BETUTEC PG 70 -28

*Huapaya*  
Hector Huapaya  
Laboratorista

*Wendy Herencia*  
Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

## LIGANTES ASFALTICOS

### 3.6.5. Punto de Inflamación

#### a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:

El procedimiento de este ensayo y la toma de datos fueron detallados en el punto 3.5.5, de este ítem se obtiene la temperatura a la cual el ligante asfáltico presenta el primer destello en la superficie del mismo debido a la acción de una pequeña llama de fuego. Este ensayo es importante porque nos permite determinar la temperatura a la cual el ligante asfáltico se inflama y puede provocar un incendio, es por ello que el punto de inflamación de los ligantes asfálticos superan los 235°C superiores a las temperaturas de mezclado, garantizando de esta manera la seguridad durante la producción de la mezcla asfáltica, esto se aplica tanto para el ligante convencional PEN 85/100 Plus y para el ligante asfáltico modificado con polímero SBS BETUTEC PG 70 -28.

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Punto de Inflamación	255°C	283°C

*Tabla 3.37–Procesamiento de punto de inflamación.*

FUENTE: PROPIA

#### b) Diagramas o Tablas:

Los resultados para esta prueba se observan en las tablas 3.49 y 3.51.

#### c) Análisis de la Prueba:

Tanto para el ligante convencional PEN 85/100 Plus y como para el ligante asfáltico modificado con polímero SBS BETUTEC PG 70 -28, se obtuvieron valores por encima del mínimo especificado garantizando de esta manera la seguridad durante el proceso de producción de la mezcla asfáltica.

### 3.6.6. Solubilidad en Tricloroetileno

#### a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:

El procedimiento de este ensayo y la toma de datos fueron detallados en el punto 3.5.6, básicamente el resultado de esta prueba consiste en el pesaje de las partículas que no logran ser disueltas por el

tricloroetileno y que se quedan atrapadas en el papel filtro, dentro del crisol Gooch, restadas del total de la muestra, expresada en porcentaje.

$$\text{Porcentaje Insoluble} = \frac{W2 - W1}{wm} \times 100$$

W1= masa del crisol y papel filtro.

Wm= masa de la muestra.

W2=masa del crisol, papel filtro y material insoluble.

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Solubilidad en Tricloroetileno	99.50%	99.57%

Tabla 3.38–Procesamiento de Solubilidad en Tricloroetileno.

FUENTE: PROPIA

#### b) Diagramas o Tablas:

Los resultados para esta prueba se observan en las tablas finales 3.49 y 3.51.

#### c) Análisis de la Prueba:

Los resultados obtenidos de esta prueba sobrepasan el parámetro mínimo permisible de partículas solubles y presentando tan solo un mínimo de partículas insolubles en nuestro ligante convencional PEN 85/100 Plus y también para nuestro ligante asfáltico modificado con polímero SBS, PG 70 -28.

Como se pudo observar, estas partículas retenidas deben representar una parte muy pequeña, ya que si no, se catalogara como un ligante asfáltico con presencia de productos contaminantes.

### 3.6.7. Penetración

#### a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:

El valor determinado en el ensayo establece la penetración del ligante asfáltico, nos permite corroborar las características físicas de los ligantes asfálticos, tanto del ligante asfáltico PEN 85/100 Plus y del ligante asfáltico modificado con polímero SBS BETUTEC PG 70 -28.

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Penetración a 25°C	87 dmm	89 dmm

Tabla 3.39–Procesamiento de Penetración en Ligantes.

FUENTE: PROPIA

**b) Diagramas o Tablas:**

Los resultados para esta prueba se observan en las tablas 3.49 y 3.51.

**c) Análisis de la Prueba:**

El resultado que se obtuvo se encuentra dentro de los parámetros especificados para un ligante asfáltico PEN 85/100 Plus, así como también para el ligante asfáltico modificado con polímero SBS BETUTEC PG 70 -28.

**3.6.8. Punto de Ablandamiento**

**a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:**

El procedimiento de este ensayo y la toma de datos fueron detallados en el punto 3.5.8, obteniendo resultados que cumplen las especificaciones técnicas del producto, para el ligante asfáltico modificado con polímero SBS BETUTEC PG 70 -28.

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Punto de Ablandamiento	---	77 °C

Tabla 3.40–Procesamiento de Punto de Ablandamiento en Ligantes.

FUENTE: PROPIA

**b) Diagramas o Tablas:**

Los resultados para esta prueba se observan en las tablas 3.49 y 3.51.

**c) Análisis de la Prueba:**

El resultado que se obtuvo cumple con los parámetros de las especificaciones técnicas del producto, este valor es parámetro fue determinado únicamente para el ligante asfáltico modificado con polímero BETUTEC PG 70 -28.

### 3.6.9. Ductilidad

#### a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:

Para el proceso de este ensayo se sigue el procedimiento explícito en el punto 3.5.9, de donde se obtiene los resultados para ambos tipo de ligante asfáltico, tanto el convencional PEN 85/100 Plus y el ligante asfáltico modificado con polímero SBS BETUTEC PG 70 -28.

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Ductilidad a 25°C	> 150 cm	92 cm

Tabla 3.41–Procesamiento Ductilidad en Ligantes.

FUENTE: PROPIA

#### b) Diagramas o Tablas:

Los resultados para esta prueba se observan en las tablas 3.49 y 3.51.

#### c) Análisis de la Prueba:

Los resultados que se obtuvieron cumplen con las especificaciones técnicas en ambos casos, sobrepasando los mínimos especificados de manera holgada, a pesar que los límites permisibles de cada tipo de ligante asfáltico es distinto, se pudo observar que en los dos casos los resultados fueron satisfactorios.

### 3.6.10. Recuperación Elástica Lineal

#### a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:

El ensayo de Recuperación Elástica Lineal a 25°C se realiza únicamente al ligante asfáltico modificado con polímero PG 70 -28, se procede con la realización del ensayo descrito en el punto 3.5.10, de los cuales se obtuvo el siguiente resultado.

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Recup Elast. Lineal a 25°C	-----	92%

Tabla 3.42 – Resultado de Recuperación elástica lineal a 25°C.

FUENTE: PROPIA

**b) Diagramas o Tablas:**

Los resultados para esta prueba se observan en las tablas 3.49 y 3.51, de este ensayo se obtiene la recuperación elástica que tiene el ligante asfáltico modificado con polímero SBS PG 70 -28.

**c) Análisis de la Prueba:**

Como resultado de este ensayo a nuestro ligante asfáltico modificado con polímero SBS, PG 70 -28, se obtuvo una recuperación elástica lineal de 92%, valor bastante elevado que garantizara una adecuada absorción de tensiones que se generen en la fibra inferior de la carpeta asfáltica haciéndola más resistente a la fatiga.

**3.6.11. Viscosidad Cinemática****a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:**

Para la determinación de la viscosidad cinemática de los ligantes asfálticos, se sigue el proceso de realización del ensayo expuesta en el punto 3.5.11, la tabla 3.42 nos muestra los resultados obtenidos para la viscosidad cinemática de ambos ligantes asfálticos.

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Viscosidad Cinematica	377 cST	802 cST

Tabla 3.43–Procesamiento Viscosidad Cinemática en Ligantes.

FUENTE: PROPIA

**b) Diagramas o Tablas:**

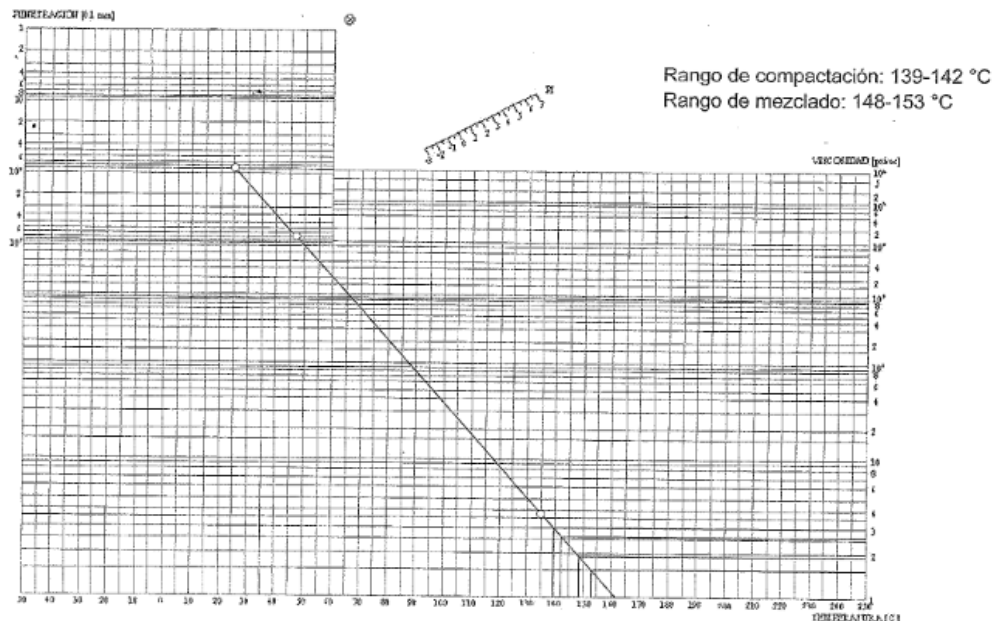
Los resultados para esta prueba se observan en las tablas 3.49 y 3.51, de este ensayo se obtiene la carta de viscosidades para el ligante asfáltico convencional PEN 85/100 plus (tabla 3.43).

**c) Análisis de la Prueba:**

El resultado de viscosidad cinemática que se obtiene para los ligantes asfálticos, cumplen las especificaciones técnicas de cada uno, garantizando el recubrimiento completo de los agregados.

Como producto de esta prueba se obtiene la carta de viscosidad – temperatura que nos proporcionan las temperaturas de mezcla y compactación.





La temperatura de mezcla está entre 148°C -153°C .  
 La temperatura compactación de la mezcla está entre 139°C -142°C .

Tabla 3.44–Carta de viscosidades PEN 85/100 Plus.

FUENTE: PROPIA

### 3.6.12. Viscosidad Brookfield

#### a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:

La determinación de la viscosidad rotacional o Brookfield, se sigue el proceso de realización del ensayo expuesta en el punto 3.5.12, del cual se obtiene la viscosidad del ligante asfáltico modificado con polímero SBS BETUTEC PG 70 -28 a tres temperaturas.

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Visc. Brookfield a 135°C	---	960 cP
Visc. Brookfield a 145°C	---	632 cP
Visc. Brookfield a 175°C	---	210 cP

Tabla 3.45–Procesamiento Viscosidad Brookfield en Ligantes.

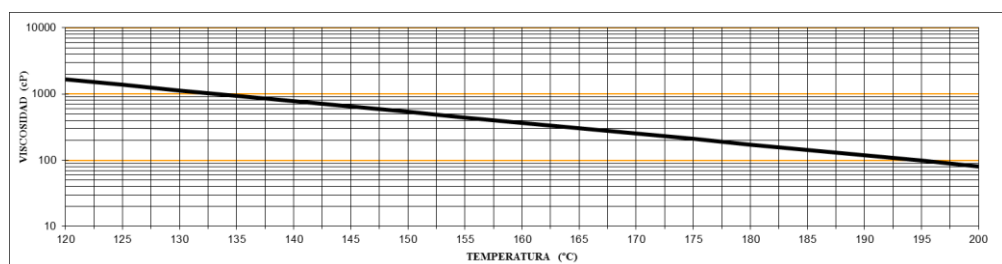
FUENTE: PROPIA

#### b) Diagramas o Tablas:

Los resultados para esta prueba se observan en las tablas 3.49 y 3.51.

**c) Análisis de la Prueba:**

Los resultados del ensayo de viscosidad rotacional o Brookfield a 135°C es inferior al máximo permitido lo que garantiza que el ligante asfáltico será adecuadamente procesado y bombeado durante la producción de la mezcla asfáltica. Con los resultados de las 3 temperaturas a las que se realizó el ensayo fue determinado la carta de viscosidad - temperatura a partir del cual se determinan las temperaturas de mezcla y compactación del ligante asfáltico modificado con polímero SBS PG 70 -28.



RANGO DE TEMPERATURA DE MEZCLA  
RANGO DE TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN DE MEZCLA

157.8	A	165.4
147.0	A	154.6

Tabla 3.46–Carta de viscosidades PG 70 -28 (véase también en líneas más abajo).

FUENTE: PROPIA

**3.6.13. Corte Dinámico – DSR****a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba**

El ensayo de corte dinámico – DSR, se realiza de acuerdo al procedimiento explicado en el punto 3.5.13, a través de este ensayo se obtienen los valores del módulo complejo ( $G^*$ ) y el ángulo de fase ( $\delta$ ) por medio de los cuales podemos determinar las propiedades reológicas del ligante asfáltico, entre ellos el grado de desempeño (PG), este ensayo fue únicamente hecho para el ligante modificado con polímero SBS PG 70 -28.

**b) Diagramas o Tablas**

Para el ensayo de Corte Dinámico, no se hace uso de ningún tipo de tabla o diagrama, ya que el análisis y procesamiento del ensayo, se realiza por medio del software FastTrack – TRIOS del DSR.

### c) Análisis de Pruebas

El ensayo de Corte Dinámico se realiza en muestras de ligante asfáltico original, el ligante asfáltico envejecido a corto plazo y el ligante asfáltico envejecido a largo plazo, de esta manera se determinan las propiedades reológicas del ligante asfáltico en sus tres etapas de vida (etapa de construcción, después de mezcla y compactación y después de 7 a 10 años de tiempo de servicio). Los resultados de este ensayo nos permiten determinar el grado de desempeño (PG) a alta temperatura del ligante asfáltico, como se observa a continuación.

ENSAYOS	METODO ASTM	UNIDADES	Especificaciones		RESULTADO
			Mínimo	Máximo	
<b>LIGANTE ASFALTICO ORIGINAL</b>					
TEMPERATURA DE CORTE DINAMICO	D-7175	°C	---	---	70
CORTE DINAMICO G*/senδ, 10 rad/s	D-7175	kPa	1	---	1.72
<b>LIGANTE DESPUES DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO - RTFOT</b>					
TEMPERATURA DE CORTE DINAMICO	D-7175	°C	---	---	70
CORTE DINAMICO G*/senδ, 10 rad/s	D-7175	kPa	2.2	---	5.26
<b>LIGANTE DESPUES DE ENVEJECIMIENTO A LARGO PLAZO - PAV</b>					
TEMPERATURA DE CORTE DINAMICO	D-7175	°C	---	---	22
CORTE DINAMICO G*/senδ, 10 rad/s	D-7175	kPa	---	5000	1400

Tabla 3.47 – Resultados PG para el ligante asfáltico obtenidos del DSR.

FUENTE: PROPIA

#### 3.6.14. Envejecimiento a corto plazo – RTFOT

##### a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba

El ensayo de Envejecimiento a corto plazo - RTFOT, se realiza de acuerdo al procedimiento explicado en el punto 3.5.14, cuyo objetivo es simular el envejecimiento que sucede durante el proceso de mezcla y compactación de la mezcla asfáltica en caliente, además que nos permite determinar la pérdida de componentes volátiles (pérdida de masa).

##### b) Diagramas o Tablas

Para el ensayo de envejecimiento a corto plazo – RTFOT, no se usa ningún tipo de diagrama o tabla para su análisis, ya que los resultados de este ensayo son básicamente calculados a partir de una ecuación

matemática simple para la cual se toma en consideración los pesos del ligante asfáltico antes y después del envejecimiento en le RTFOT.

### c) Análisis de Pruebas

El ligante asfáltico fue pesado antes de ingresar a envejecimiento a corto plazo, y una vez terminado el proceso de envejecimiento, también se pesó nuevamente, hallando de esta manera la pérdida de masa después del envejecimiento a corto plazo – RTFOT.

ENSAYOS	METODO ASTM	UNIDADES	Especificaciones		RESULTADO
			Mínimo	Máximo	
DESPUES DE ENVEJECIMIENTO RTFOT					
MASA INICIAL, DEL LIGANTE ORIGINAL					35.001
MASA DESPUES DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO					34.812
PERDIDA DE MASA	D-2872	%	--	1	-0.540

Tabla 3.48 – Pérdida de masa del ligante asfáltico después de envejecimiento a corto plazo - RTFOT.

FUENTE: PROPIA

### 3.6.15. Envejecimiento a largo plazo – PAV

#### a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba

El ensayo de Envejecimiento a largo plazo - PAV, se realizó de acuerdo al procedimiento explicado en el punto 3.5.15, cuyo objetivo es simular el envejecimiento que sucede durante la vida en servicio (7 a 10 años) de la mezcla asfáltica en caliente.

#### b) Diagramas o Tablas

Para el ensayo de envejecimiento a largo plazo – PAV, no se usa ningún tipo de diagrama o tabla para su análisis, ya que la función de este ensayo es únicamente la de envejecer el ligante asfáltico a largo plazo, procedimiento que es necesario para la ejecución de los ensayos reológicos después de envejeciendo a largo plazo (DSR y BBR).

#### c) Análisis de Pruebas

El ligante asfáltico sometido a envejecimiento a largo plazo – PAV, es obtenido después de 20 horas de ensayo en el vaso de envejecimiento a presión, este ensayo no presenta resultados numéricos o indicadores



ya que la única función es la de envejecer a largo plazo el ligante asfáltico simulando unos 7 – 10 años de puesta en servicio, que son necesarios para la ejecución de los ensayos reológicos después de envejeciendo a largo plazo (DSR y BBR).

### **3.6.16. Ensayo de Viga en Flexión - BBR**

#### **a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba**

El ensayo de Viga en Flexión, se realiza de acuerdo al procedimiento explicado en el punto 3.5.16. El ensayo se realiza en muestras del ligante después del envejecimiento a corto y largo plazo, como resultado de este ensayo se obtiene los valores de rigidez a la flexión (S) y pendiente a 60 segundos de aplicación de carga (m) a partir de los cuales se determina el grado de desempeño (PG) a baja temperatura del ligante asfáltico.

#### **b) Diagramas o Tablas**

Para esta parte de la investigación no se utiliza ninguna tabla o diagrama para el análisis de los datos obtenidos, debido a que todos los resultados son obtenidos a partir del software del Reómetro de Viga en Flexión (BBR).

#### **c) Análisis de Pruebas**

Teniendo en consideración que el valor de la rigidez obtenido en el ensayo a  $-18^{\circ}\text{C}$ , fue de 109 MPa el cual es mucho menor al valor máximo especificado de 300 MPa y el valor de m es de 0.337, mayor al valor mínimo especificado de 0.300. Podemos concluir que este ligante asfáltico cumple con los requisitos establecidos por el SUPERPAVE para un grado de desempeño (PG) a baja temperatura de  $-28^{\circ}\text{C}$ , valor que se encuentra por debajo de las temperaturas mínimas extremas que se presentan en nuestra zona de estudio, en la siguiente tabla se pueden observar los resultados obtenidos en el reómetro de viga en flexión (BBR).

ENSAYOS	METODO ASTM	UNIDADES	Especificaciones		RESULTADO
			Mínimo	Máximo	
TEMPERATURA DE RIGIDEZ AL DESPLAZAMIENTO	D-6648	°C	---	---	-18
RIGIDEZ AL DESPLAZAMIENTO, VALOR S, a 60 seg	D-6648	MPa	---	300	109
VALOR m	D-6648		0.300	---	0.337

Tabla 3.49 – Resultados obtenido en el Reometro de Viga en Flexion.

FUENTE: PROPIA

Tabla 3.50 – CARACTERIZACIÓN DEL LIGANTE ASFALTICO CONVENCIONAL PEN 85/100 Plus

## TDM ASFALTOS

### ASFALTO SOLIDO PEN 85/100 PLUS

#### INFORME DE ENSAYO N° 004-2016-LAB TDM ASFALTOS

GUIA TDM ASFALTOS : \_\_\_\_\_

CLIENTE: \_\_\_\_\_

REFERENCIAS \_\_\_\_\_

TANQUE: \_\_\_\_\_

LOTE DE PRODUCCIÓN: \_\_\_\_\_

CANTIDAD: 2 GALON

FECHA DE PRODUCCIÓN: 21/03/2017

CINTILLO DE SEGURIDAD N°: \_\_\_\_\_

ENSAYOS	METODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MINIMO	MAXIMO	
PENETRACION 5 s, 25 °C	D-5	dmm	85	100	87
PUNTO DE INFLAMACION	D-92	°C	232	--	255
GRAVEDAD ESPECIFICA 15.6/15.6°C	D-70		Reportar		1.016
DUCTILIDAD 5cm/min, 25°C	D-113	cm	100	--	>150
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	D-2042	%	99	--	99.50
EPECTO DE CALOR Y AIRE (PELICULA FINA)	D-1754		MINIMO	MAXIMO	
PERDIDA POR CALENTAMIENTO	D-1754	%	--	1.0	0.250
PENETRACION RETENIDA % original	D-5		47	--	57.5
DUCTILIDAD 5cm/min, 25°C	D-113	cm	75	--	91.5
INDICE DE PENETRACION	(*) Francés RLB		-1	1	-0.5
FLUIDEZ					
VISCOSIDAD CINEMATICA 100°C	D-2170	cSt	Reportar		2635
VISCOSIDAD CINEMATICA 135°C	D-2170	cSt	170	--	377
ADHERENCIA	D-3625		MINIMO	MAXIMO	
REVESTIMIENTO Y DESPRENDIMIENTO	D-3625	%	> 95	--	> 95

OBSERVACIONES: La muestra de asfalto cumple especificaciones de calidad  
La temperatura de mezcla está entre 148°C -153°C .  
La temperatura compactación de la mezcla está entre 139°C -142°C .  
 (\*) OTRO METODO

Original: Cliente  
 Copia 1: Área Técnica  
 Copia 2: Producción  
 Copia 3: Laboratorio

Hector Huapaya  
 Laboratorista

Wendy Herencia  
 Jefe del Área Técnica

Fecha de Emisión : Lima, 13 de abril del 2017



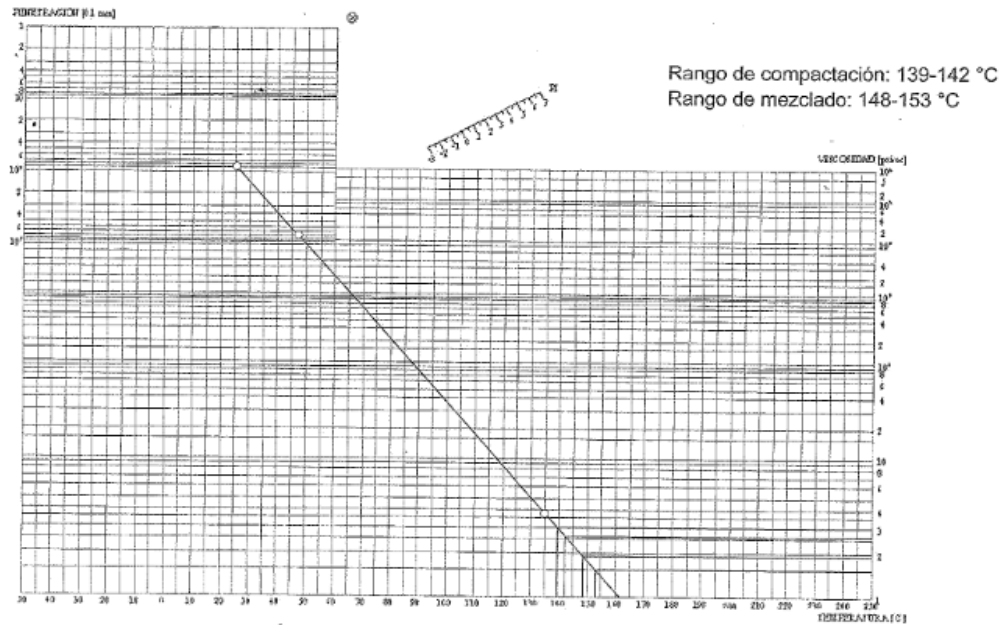
Tabla 3.51 - CARTA DE VISCOCIDAD-TEMPERATURA DEL LIGANTE  
ASFALTICO CONVENCIONAL PEN 85/100 Plus



Mza. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín  
Teléfono (511) 6169311 Fax: 6169313

GRÁFICO DE TEMPERATURAS DE MEZCLA Y COMPACTACIÓN

PRODUCTO: PEN 85/100 PLUS      INFORME DE ENSAYO N° 004-2017.      FECHA: 13/04/2017



Hector Huapaya  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

La temperatura de mezcla está entre 148°C -153°C .  
La temperatura compactación de la mezcla está entre 139°C -142°C .

Tabla 3.52 - CARACTERIZACIÓN DEL LIGANTE ASFALTICO MODIFICADO CON POLIMERO SBS BETUTEC PG 70 -28



TDM ASFALTOS

BETUTEC PG 70 -28

INFORME DE ENSAYOS N° 004-2017 PG 70 -28

GUIA TDM ASFALTOS : ---  
 CLIENTE: \_\_\_\_\_  
 REFERENCIAS: ✓  
 TANQUE: 1 \_\_\_\_\_ CINTILLO DE SEGURIDAD N°: \_\_\_\_\_  
 LOTE DE PRODUCCIÓN: MOD2017.03.070 \_\_\_\_\_  
 CANTIDAD: 2 GALON \_\_\_\_\_  
 FECHA DE PRODUCCIÓN: \_\_\_\_\_

ENSAYOS	MÉTODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MÍNIMO	MÁXIMO	
PENETRACIÓN 5 s, 25°C	D-5	dmm	75	100	89
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C	D-2171	Po	2500	--	6478
VISCOSIDAD CINEMATICA 135°C	D-2170	cSt	--	3000	802
PUNTO DE INFLAMACIÓN	D-92	°C	232	--	283
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	D-2042	%	99	--	99.57
VISCOSIDAD BROOKFIELD 135 °C	D-4402	cP	--	--	960.0
VISCOSIDAD BROOKFIELD 145 °C	D-4402	cP	--	--	632.5
VISCOSIDAD BROOKFIELD 175 °C	D-4402	cP	--	--	210.0
RECUPERACION ELASTICA LINEAL Método A, 20 cm, 25°C	D-6084	%	60	--	92
RECUPERACION ELASTICA LINEAL Método A, 20 cm, 5°C	D-6084	%	--	--	53.4
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	D-36	°C	50	--	77
ESTABILIDAD A ALMACENAMIENTO 163 °C, 48 horas	D-7173				
SEPARACION, DIFERENCIA	D-36	°C	--	2.2	2.0
RESIDUO DESPUÉS DE PELÍCULA FINA ROTATORIA	D-2872				
RECUPERACION ELASTICA LINEAL Método A, 10 cm, 25°C	D-6084	%	60	--	75.8
PENETRACIÓN 4°C, 200 g, 60 s	D-5	dmm	15	--	28
SEPARACION, diferencia	D-36	°C	--	10	4.8

OBSERVACIONES: La muestra de asfalto cumple especificaciones de MTC - EG 2013  
 No presenta espuma a 163 °C

Original: Cliente  
 copia 1: Área Técnica  
 copia 2: Producción  
 copia 3: Laboratorio

*Huapaya*  
 Hector Huapaya  
 Laboratorista

*Wendy Herencia*  
 Wendy Herencia  
 Jefe del Área Técnica

Fecha de Emisión : Lima, 13 de abril del 2017



Tabla 3.53 - CARTA DE VISCOSIDAD-TEMPERATURA DEL LIGANTE ASFALTICO MODIFICADO CON POLIMERO SBS BETUTEC PG 70 -28.

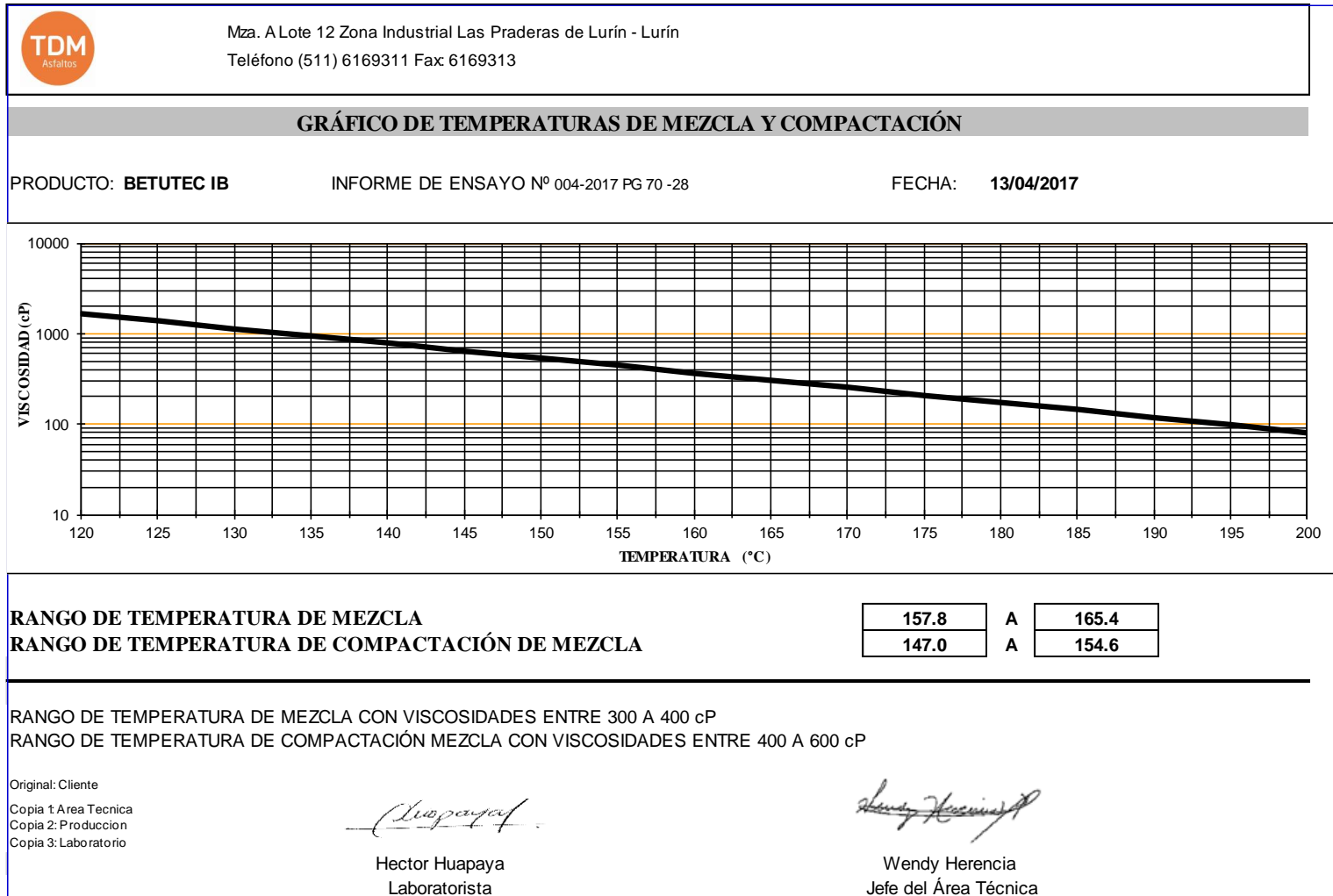


Tabla 3.54 - CARACTERIZACIÓN POR PERFORMANCE GRADE (PG) DEL LIGANTE ASFALTICO MODIFICADO BETUTEC PG 70 -28.



TDM ASFALTOS

GRADO DE PERFORMANCE  
INFORME DE ENSAYO N° 004-2017-LAB LIGANTES SUPERPAVE

SOLICITANTE	RAFAEL ESTRADA ESCALANTE
PROYECTO	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
PRODUCTO	BETUTEC PG 70 -28      CONTRAMUESTRA:---
CODIGO DE MUESTRA	MOD2017.02
PROCEDENCIA	TK-1
FECHA DE PRODUCCION	21.03.2017

ENSAYOS	METODO ASTM	UNIDADES	Especificaciones		RESULTADO
			Mínimo	Máximo	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>					
PUNTO DE INFLAMACIÓN	D-92	°C	230	---	283
VISCOSIDAD BROOKFIELD, SPINDLE 21, 20 RPM, 135°C	D-4402	cP	---	3000	960.0
TEMPERATURA DE CORTE DINAMICO	D-7175	°C	---	---	70
CORTE DINAMICO G*/senδ, 10 rad/s	D-7175	kPa	1	---	1.72
<b>DESPUES DE ENVEJECIMIENTO RTFOT</b>					
PERDIDA DE MASA	D-2872	%	---	1	-0.540
TEMPERATURA DE CORTE DINAMICO	D-7175	°C	---	---	70
CORTE DINAMICO G*/senδ, 10 rad/s	D-7175	kPa	2.2	---	5.26
<b>DESPUES DE ENVEJECIMIENTO PAV</b>					
TEMPERATURA DE CURADO PAV	D-6521	°C	---	---	100
TEMPERATURA DE CORTE DINAMICO	D-7175	°C	---	---	22
CORTE DINAMICO G*/senδ, 10 rad/s	D-7175	kPa	---	5000	1400
TEMPERATURA DE RIGIDEZ AL DESPLAZAMIENTO	D-6648	°C	---	---	-18
RIGIDEZ AL DESPLAZAMIENTO, VALOR S, a 60 seg	D-6648	MPa	---	300	109
VALOR m	D-6648		0.300	---	0.337

<b>GRADO DE PERFORMANCE</b>	<b>PG 70 -28</b>
-----------------------------	------------------

Observaciones      GRADO DE PERFORMANCE SEGÚN ASTM D-6373-13 TABLA 1  
EL AMP TIENE UN CONTENIDO DE POLIMERO MAYOR A 3%

ginal: Cliente  
pia 1: LLS



Ing. Wendy Herencia  
Jefe de Area Técnica

Fecha de Emisión :

Lima, 13 de abril del 2017

**MEZCLA ASFALTICA**

**3.6.16. Método MARSHALL**

**a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:**

Para el procesamiento de estos datos se siguen los pasos detallados en el punto 3.5.16, para cada una de las mezclas asfálticas, tanto la convencional PEN 85/100 Plus como la modificada con polímero SBS BETUTEC PG 70 -28.

**b) Diagramas o Tablas:**

*Tabla 3.55 - HOJA RESUMEN DE DISEÑO DE MEZCLA MARSHALL CON ASFALTO CONVENCIONAL PEN 85/100 Plus*



EXPEDIENTE MAC  
010-2017-LAB TDM ASFALTOS

**INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)  
(RESUMEN)**

SOLICITANTE : RAFAEL ESTRADA ESCALANTE  
UBICACIÓN : CUSCO  
PROYECTO : UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE  
FECHA DE RECEPCIÓN : 21-03-17

**1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJES EN PESO)**

CANTERA SIN IDENTIFICACIÓN

PIEDRA CHANCADA 1/2" : 25%  
PIEDRA CHANCADA 3/8" : 20%  
ARENA CHANCADA : 54%  
CAL HIDRATADA : 1%  
: GRADACIÓN D-5  
: ASTM D 3515

**2.- LIGANTE BITUMINOSO**

Tipo de asfalto : ASFALTO 85/100 PLUS  
% optimo de C.A. : 6.3

**3.- ADITIVO**

Tipo de aditivo : ADHESOL 9000  
% de aditivo en peso del C.A. : 0.5

**4.- CARACTERÍSTICAS MARSHALL MODIFICADO**

		75	
Nº DE GOLPES		6.0	6.6
CEMENTO ASFÁLTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	6.0	6.3	6.6
DENSIDAD SECA BULK (g/cm3)	2.332	2.338	2.344
VACIOS (%)	3.7	3.0	2.4
V.M.A. (%)	15.8	15.8	15.9
R.B.V. (%)	75.7	80.3	85.0
FLUJO (0,25 mm)	13.4	14.0	14.6
ESTABILIDAD (kg)	1467.0	1381.0	1255.0
Relación polvo - asfalto	0.92	0.87	0.82

**5.- TEMPERATURA DE APLICACIÓN (°C)**

Según carta de viscosidad  
Temperatura Mezcla: 148.0 °C - 153.0 °C  
Temperatura de Compactación: 139.0 °C - 142.0 °C

**6.- OBSERVACIONES**

- 1.- Para validar este diseño se recomienda realizar los ensayos faltantes .
- 2.- Se utilizó asfalto 85/100 de la Refinería Repsol y se aditivo con 0.5% de Adhesol 9000.
- 3.- Se ajustó la gradación de la arena chancada para mejorar su gradación y encajar en el huso granulométrico ASTM D 3515
- 4.- La Piedra chancada de 1/2" y la Piedra chancada de 3/8" se ajustó la gradación para encajar en el huso granulométrico
- 5.- Para la utilización de este diseño el cliente tendrá que reprocesar la arena chancada, piedra 1/2" y piedra 3/8" a fin de cumplir con la gradación ASTM D 3515 D-5.

Hector Huapaya  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Tabla 3.56 - HOJA RESUMEN DE DISEÑO DE MEZCLA MARSHALL CON ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO SBS BETUTEC PG 70 -28.



EXPEDIENTE MAC
011-2017-LAB TDM ASFALTOS

**INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)  
(RESUMEN)**

SOLICITANTE : RAFAEL ESTRADA ESCALANTE  
UBICACIÓN : CUSCO  
PROYECTO : UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE  
FECHA DE RECEPCIÓN : 21-03-17

**1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJES EN PESO)**

CANTERA SIN IDENTIFICACIÓN

PIEDRA CHANCADA 1/2" : 25%  
PIEDRA CHANCADA 3/8" : 20%  
ARENA CHANCADA : 54%  
CAL HIDRATADA : 1.0%  
: GRADACIÓN D-5  
: ASTM D 3515

**2.- LIGANTE BITUMINOSO**

Tipo de asfalto : BETUTEC PG 70 -28  
% optimo de C.A. : 6.2

**3.- ADITIVO**

Tipo de aditivo : ----  
% de aditivo en peso del C.A. : ----

**4.- CARACTERÍSTICAS MARSHALL MODIFICADO**

Nº DE GOLPES		75	
CEMENTO ASFÁLTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	5.9	6.2	6.5
DENSIDAD SECA BULK (g/cm3)	2.329	2.334	2.339
VACIOS (%)	3.7	3.0	2.4
V.M.A. (%)	15.9	15.9	16.0
R.B.V. (%)	76.0	80.3	84.6
FLUJO (0,25 mm)	13.3	14.1	14.8
ESTABILIDAD (kg)	2121.0	2047.0	1928.0
Relación polvo - asfalto	0.91	0.86	0.82

**5.- TEMPERATURA DE APLICACIÓN (°C)**

Según carta de viscosidad  
Temperatura Mezcla: 157.8 °C - 165.4 °C  
Temperatura de Compactación: 147.0 °C - 154.6 °C

**6.- OBSERVACIONES**

- 1.- Para validar este diseño se recomienda realizar los ensayos faltantes .
- 2.- Se utilizó Betutec PG 70 -28.
- 3.- Se ajustó la gradación de la arena chancada para mejorar su gradación y encajar en el huso granulométrico ASTM D 3515
- 4.- La Piedra chancada de 1/2" y la Piedra chancada de 3/8" se ajustó la gradación para encajar en el huso granulométrico
- 5.- Para la utilización de este diseño el cliente tendrá que reprocesar la arena chancada, piedra 1/2" y piedra 3/8" a fin de cumplir con la gradación ASTM D 3515 D-5.

Hector Huapaya  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Fecha de Emisión : Lima, 13 de abril del 2017



**c) Análisis de la Prueba:**

Para cada una de las pruebas se realizó un diseño de mezcla asfáltica utilizando el método Marshall como se muestra en las tablas 3.54 y 3.55, estos diseños de mezcla fueron realizadas utilizando los mismos agregados, el mismo filler mineral y utilizando la misma composición granulométrica ya que el objetivo de esta investigación fue la de evaluar el desempeño de las mezclas asfálticas y que la única variable diferente en ambos son los ligantes asfálticos, producto del diseño de mezcla se obtuvo que los contenidos óptimos de asfalto son prácticamente iguales, sin embargo existen diferencias en sus propiedades mecánicas y de desempeño.

**3.6.17. Gravedad Específica Máxima – Rice****a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:**

El ensayo de Gravedad Especifica Máxima o Rice se realizó siguiendo el procedimiento explicado en el punto 3.5.17 a través de la cual fueron determinadas los datos necesarios para determinar las gravedades específicas máximas, utilizando la ecuación mostrada líneas abajo, las mismas que se muestran a continuación.

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Gravedad Especifica Maxima - RICE (g/cm <sup>3</sup> )	2.412	2.407

Tabla 3.57–Resultados obtenidos del ensayo de Gravedad especifica máxima o Rice.

FUENTE: PROPIA

**b) Diagramas o Tablas:**

$$\gamma = \frac{A}{A - (C - B)}$$

Donde:

- A: Peso muestra seca al aire.
- B: Peso de matraz + agua.
- C: Peso de matraz + agua + mezcla.

**c) Análisis de la Prueba:**

Las gravedades específicas máximas medidas que se obtuvieron tanto para la mezcla asfáltica con asfalto convencional PEN 85/100 Plus y para el asfalto modificado con polímeros SBS BETUTEC PG 70 -28, son estadísticamente iguales, lo cual nos indica que ambos tipos de mezcla tienen similar gravedad específica máxima.

**3.6.18. Densidad de Mezcla****a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:**

Para determinar la densidad de las mezclas asfálticas compactadas fueron tomados 3 datos: el peso seco, el peso sumergido y el peso saturado superficialmente seco de los cuerpos de prueba, para luego calcular la densidad con la fórmula mostrada a continuación. En la siguiente tabla podemos observar las densidades obtenidas para los dos tipos de mezclas asfálticas estudiadas

	PEN 85/100 Plus	PG 70 -28
Densidad del Especimen (g/cm <sup>3</sup> )	2.338	2.334

Tabla 3.58– Resultados obtenidos del ensayo de Densidad de las mezclas asfálticas.

FUENTE: PROPIA

**b) Diagramas o Tablas:**

$$Densidad = \frac{Peso\ Seco}{Peso\ Saturado\ Sup.\ Seco - Peso\ Sumergido}$$

**c) Análisis de la Prueba:**

Las densidades obtenidas para ambos tipos de mezclas asfálticas, tanto para la mezcla asfáltica con asfalto convencional PEN 85/100 Plus y para el asfalto modificado con polímeros SBS BETUTEC PG 70 -28, son estadísticamente iguales, lo cual nos indica que ambos tipos de mezcla tienen similar densidad.

**DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS****HAMBURG WHEEL – TRACK****a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:**

El ensayo de Hamburg Wheel Track se realiza ingresando los cuerpos de prueba en la máquina de Hamburg Wheel track, donde se encuentran sumergidas en agua a la temperatura de 50°C.

De dicho ensayo se obtiene como resultado el número de pasadas que logra soportar el cuerpo de prueba, concluyendo en 20 000 pasadas o también con el ahuellamiento máximo de 12.50 mm, así mismo se puede obtener el punto de inflexión SIP (Stripping Inflexion Point) siempre y cuando el caso lo permita, de acuerdo a la formación de la curva S que refleja el comportamiento de los cuerpos de prueba en el ensayo, debido a que se tiene que observar un cambio brusco de la pendiente de la curva, lo cual estaría reflejando un comportamiento “stripping” o desprendimiento de nuestros agregados que conforman el cuerpo de prueba, significando que existe una falla por humedad inducida.

Los resultados del ensayo de Hamburg Wheel Track se obtienen de manera directa del equipo, los cuales son leídos de manera automática y durante toda la ejecución del ensayo a través del software del equipo Hamburg Wheel Track, en la siguiente tabla se presentan los resultados de la profundidad de ahuellamiento obtenida para ambos tipos de mezcla asfáltica estudiadas en este trabajo de investigación.

	PEN 85/100 Plus	PEN 85/100 Plus	PROMEDIO
Densidad maxima teorica	2.412	2.412	
Procentaje de Vacios	7.00%	7.20%	
Contenido de asfalto	6.30%	6.30%	
N° de pasadas - Programada	20000	20000	20000
N° de pasadas - Logradas	17472	13789	15631
Profundidad de Huella	12.50 mm	12.50 mm	12.50 mm

Tabla 3.59– Resultados de la Prueba de Hamburg Wheel Track(1).

FUENTE: PROPIA

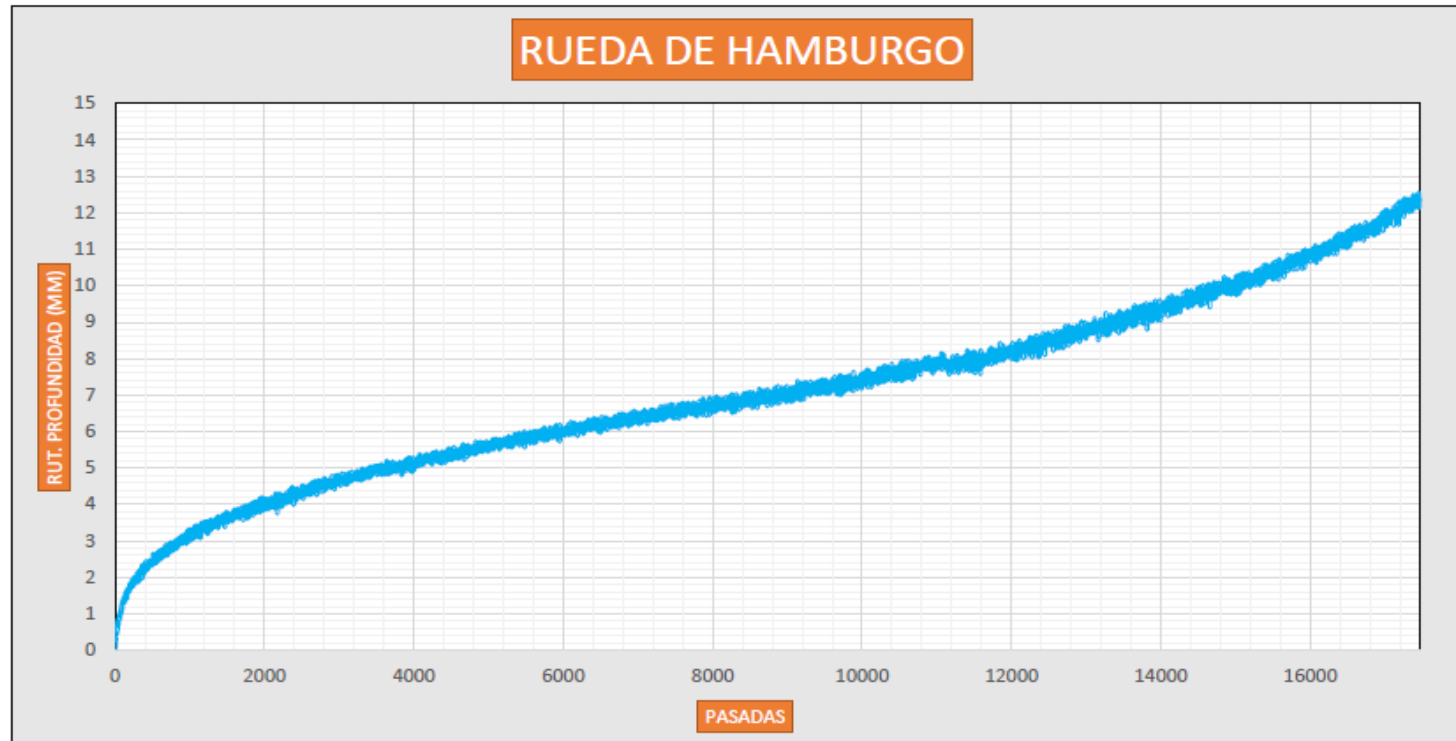


	PG 70 -28	PG 70 -28	PROMEDIO
Densidad maxima teorica	2.407	2.407	
Procentaje de Vacios	6.80%	7.00%	
Contenido de asfalto	6.20%	6.20%	
N° de pasadas - Programada	20000	20000	20000
N° de pasadas - Logradas	20000	20000	20000
Profundidad de Huella	3.68 mm	3.89 mm	3.79 mm

Tabla 3.60 – Resultados de la prueba de Hamburg Wheel Track (2).

FUENTE: PROPIA

b) Diagramas o Tablas:

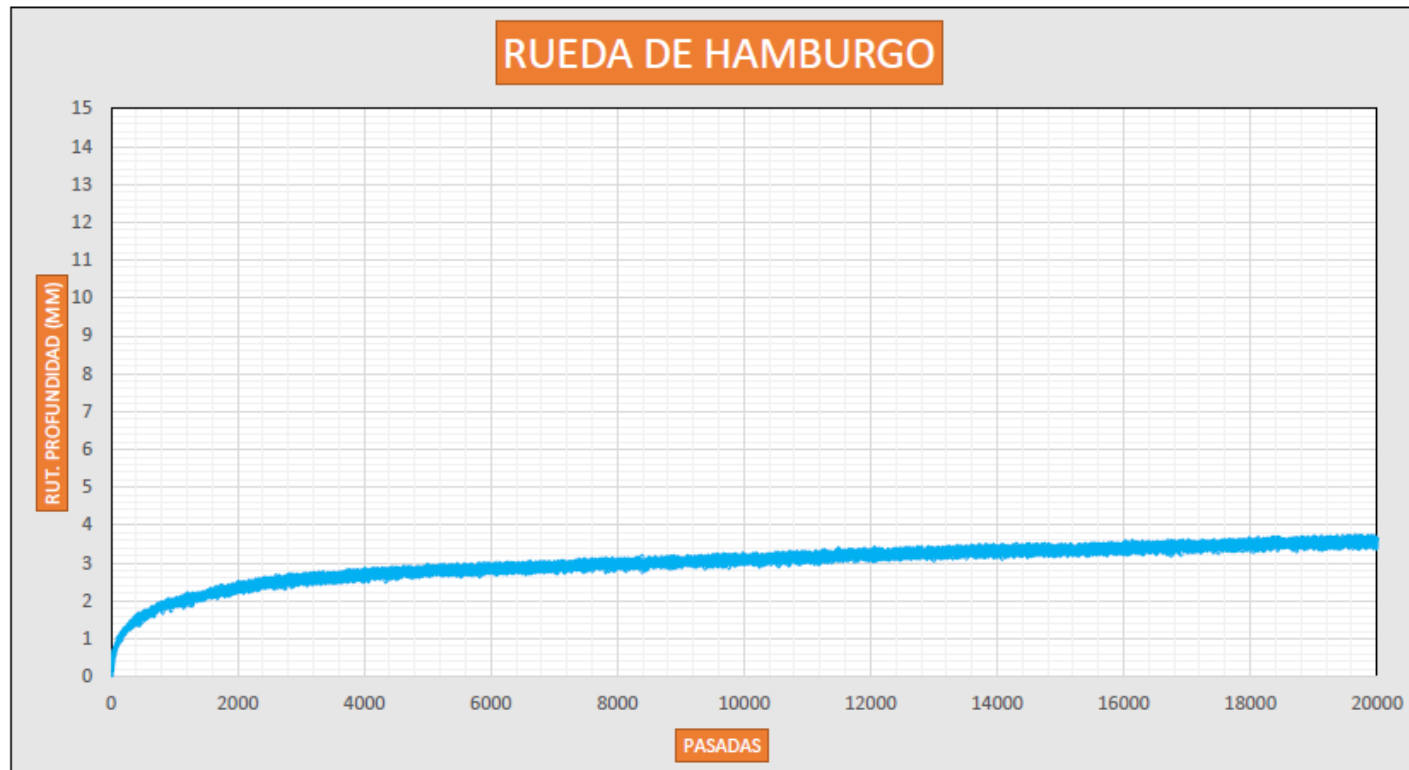


Guillermo Vera B.  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Figura 3.68. – Diagrama de Comportamiento PEN85/100 Plus (1).

FUENTE: PROPIA.

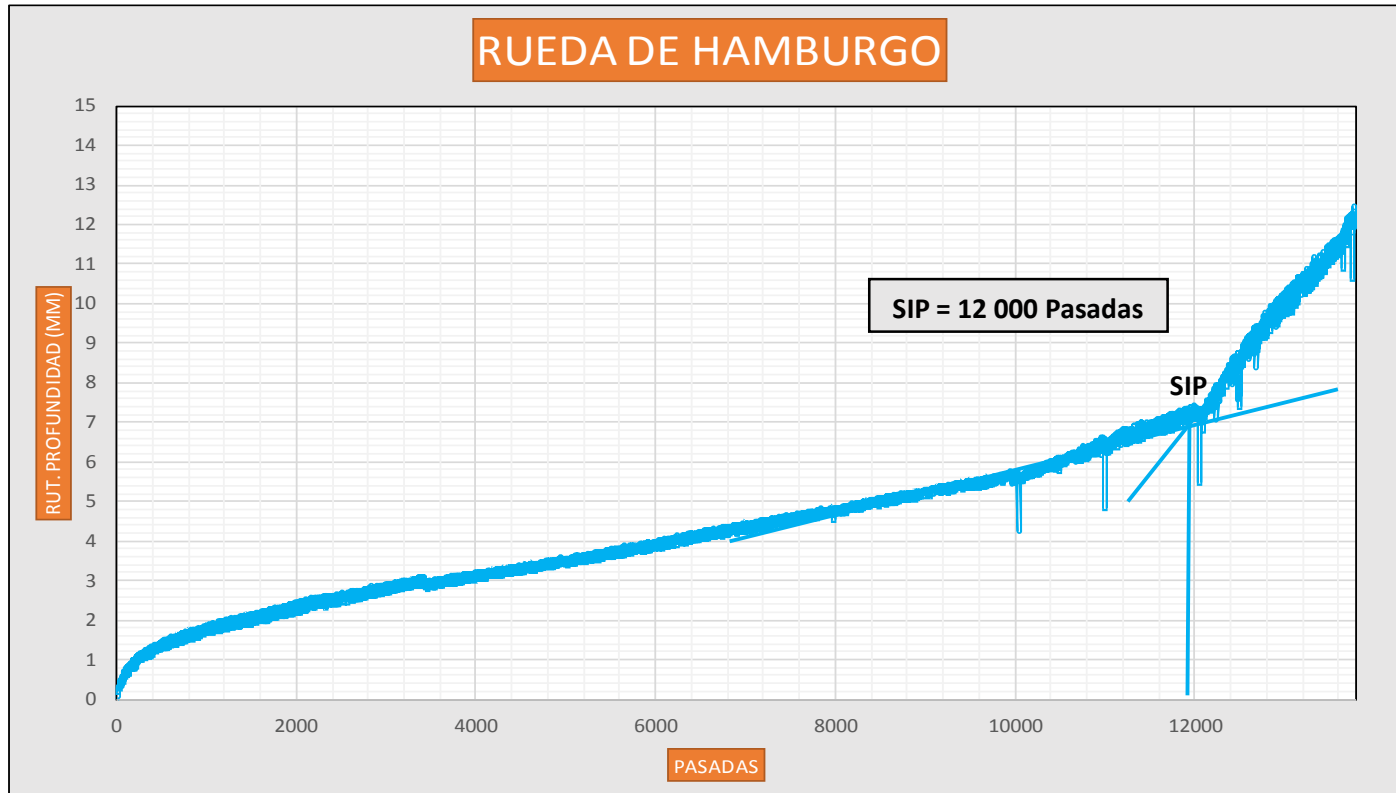


Guillermo Vera B.  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Figura 3.69. – Diagrama de Comportamiento PG 70 -28 (1).

FUENTE: PROPIA.



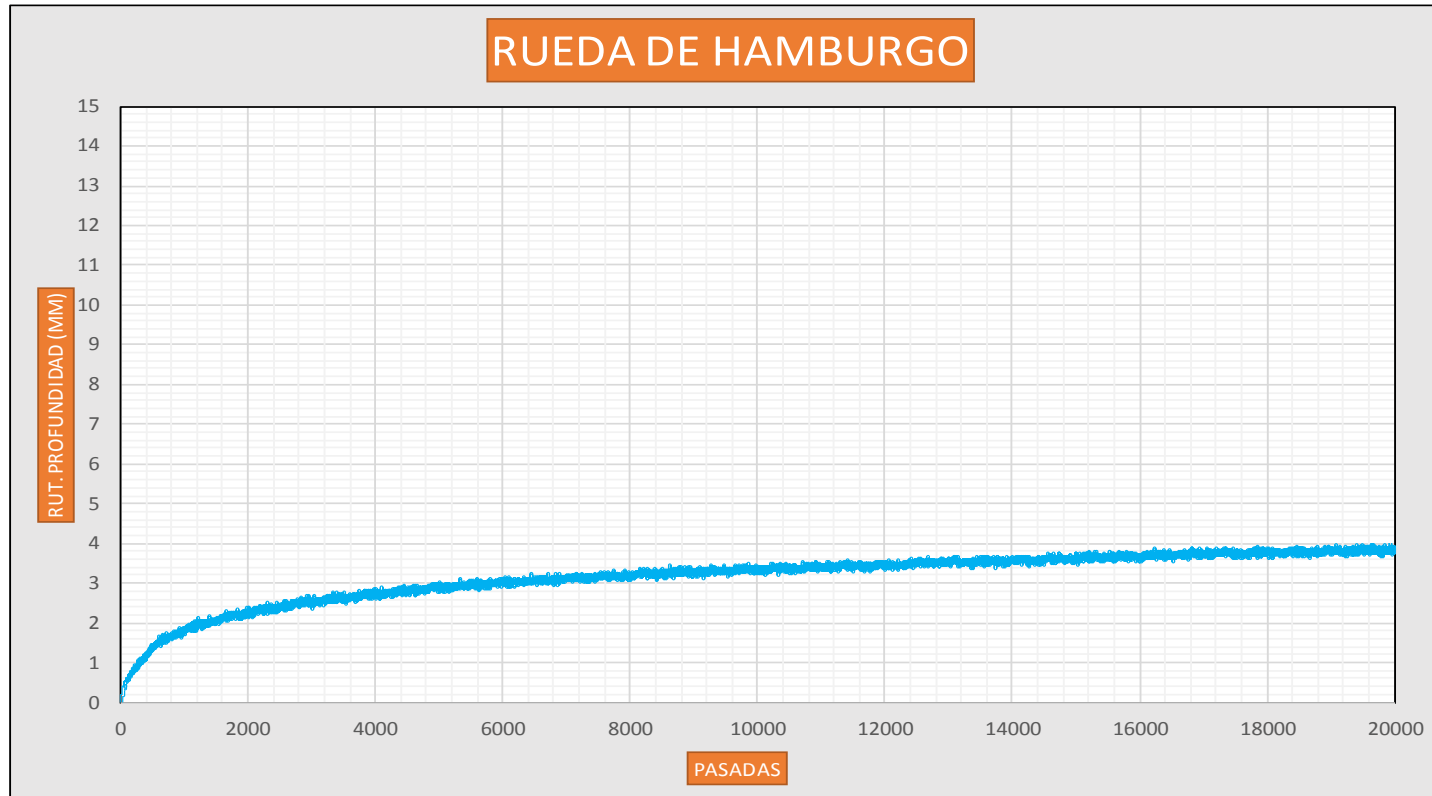
Guillermo Vera B.  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Figura 3.70 - Diagrama de Comportamiento PEN85/100 Plus (2).

FUENTE: PROPIA.





Guillermo Vera B.  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Figura 3.71 - Diagrama de Comportamiento PG 70 -28 (2).

FUENTE: PROPIA.

**c) Análisis de la Prueba:**

De los resultados obtenidos, se observa que la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus no llega a atender el requerimiento de un ahuellamiento menor a 12.50 mm a las 20 000 pasadas, presentando una profundidad de ahuellamiento mayor a 12.50 mm a los 15 631 ciclos en promedio de las dos pruebas realizadas, sin embargo la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 sí cumple con el requerimiento de un ahuellamiento menor a 12.50 mm a las 20 000 pasadas, presentando una profundidad de ahuellamiento de 3.79mm en promedio para las dos pruebas realizadas. Esto nos muestra la gran diferencia en términos de resistencia a la deformación permanente que presentan los asfaltos modificados con polímero SBS PG 70 -28 siendo estos muy superiores a la de un asfalto convencional PEN 85/100 Plus.

**DETERMINACIÓN DE LA VIDA A LA FATIGA DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTAS SUJETAS A CARGAS REPETITIVAS****a) Procesamiento de Cálculos de la Prueba:**

Los datos obtenidos en el ensayo de Resistencia a la Fatiga fueron tomados directamente del software de la UTM – 25, para nuestro estudio fueron realizados dos ensayos por cada tipo de mezcla asfáltica, cuyos resultados se muestran en la tabla a continuación.

(1)	PEN 85/100 PLUS	PEN 85/100 PLUS	PROMEDIO
<b>RESISTENCIA A LA FATIGA - 4 PUNTOS</b>			
Porcentaje de vacios de mezcla (%)	7.00	7.00	
coeficiente de Possion	0.35	0.35	
Rigidez Flexural inicial (Mpa)	2632	2520	
N° DE CICLOS RECIBIDOS	183840	188605	186223

Tabla 3.61–Procesamiento de Vida a la Fatiga, 4 puntos (1).

FUENTE: PROPIA

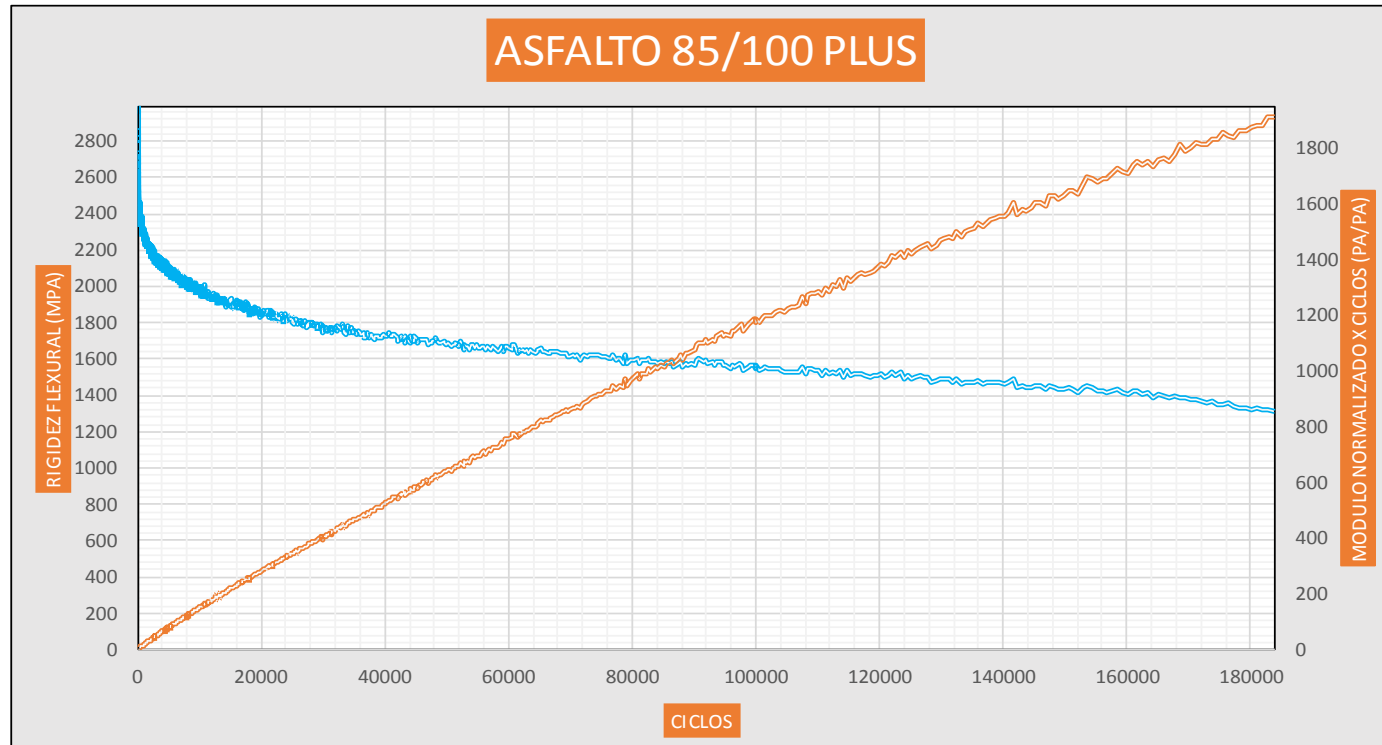


(2)	PG 70 -28	PG 70 -28	PROMEDIO
<b>RESISTENCIA A LA FATIGA - 4 PUNTOS</b>			
Porcentaje de vacios de mezcla (%)	7.10	7.10	
coeficiente de Possion	0.35	0.35	
Rigidez Flexural inicial (Mpa)	1947	2038	
<b>N° DE CICLOS RECIBIDOS</b>	3202988	3285992	3244490

Tabla 3.62 - Procesamiento de Vida a la Fatiga, 4 puntos (2).

FUENTE: PROPIA

b) Diagramas o Tablas:

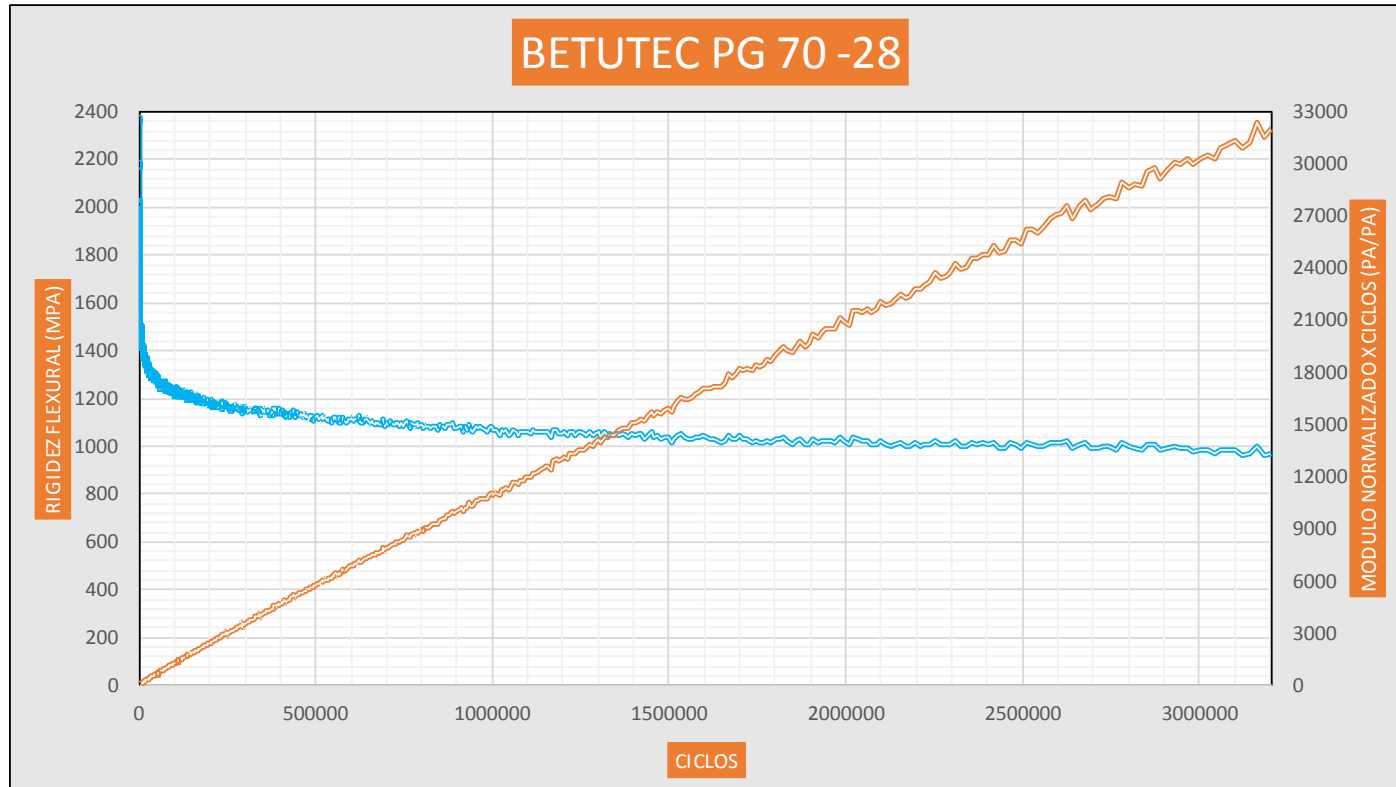


Guillermo Vera B.  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Figura 3.72. – Diagrama de Comportamiento a Fatiga PEN 85/100Plus (1).

FUENTE: PROPIA.

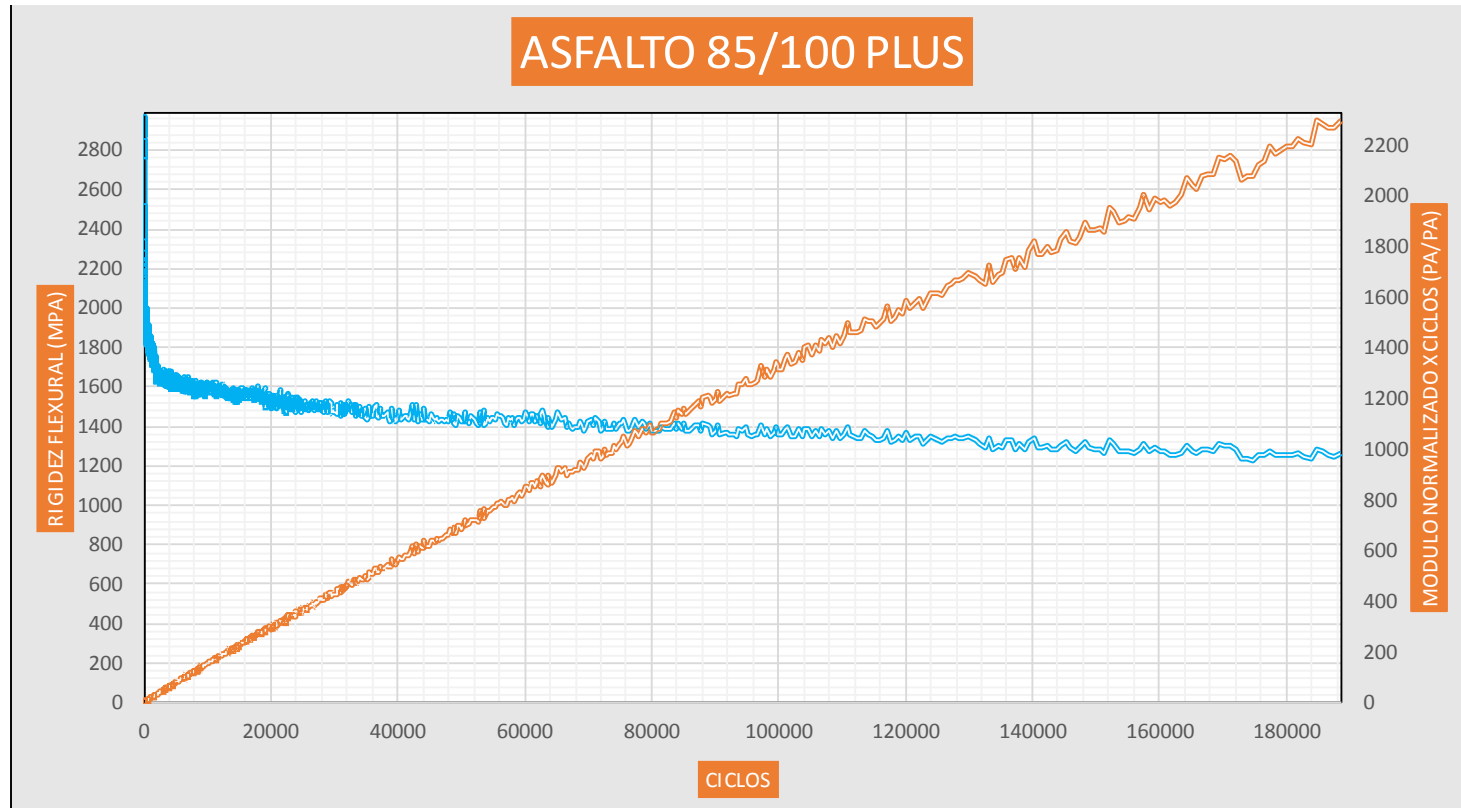


Guillermo Vera B.  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Figura 3.73. – Diagrama de Comportamiento a Fatiga PG 70 -28 (1).

FUENTE: PROPIA.

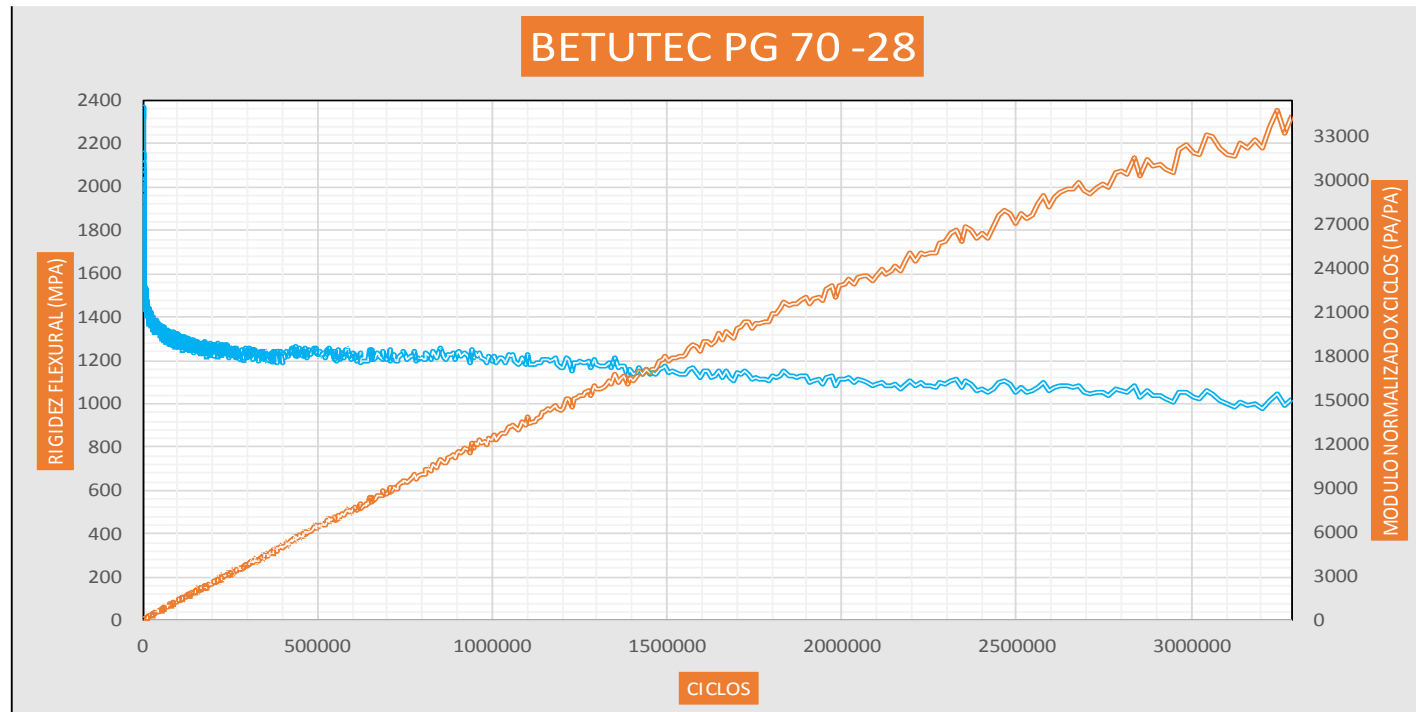


Guillermo Vera B.  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Figura 3.74 - Diagrama de Comportamiento a Fatiga PEN 85/100Plus (2).

FUENTE: PROPIA.



Guillermo Vera B.  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Figura 3.75 - Diagrama de Comportamiento a Fatiga PG 70 -28 (2).

FUENTE: PROPIA.



**c) Análisis de la Prueba:**

El ensayo de Resistencia a la fatiga tiene como criterio de falla la rotura de la viga o la pérdida de la rigidez inicial en un 50%, teniendo en consideración este criterio de falla fueron sometidas a ensayo dos vigas realizadas con la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus y dos vigas realizadas con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28.

En este ensayo, la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus soportó en promedio 186 223 aplicaciones de carga antes de llegar a tener una pérdida de rigidez mayor al 50% de su rigidez inicial, sin embargo la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 soporto en promedio 3 244 490 aplicaciones de carga con una pérdida de rigidez aún menor al 50% de su rigidez inicial. Estos resultados muestran la extraordinaria resistencia a la fatiga que presentan los asfaltos modificados con polímero en comparación a los asfaltos convencionales, que para este caso en específico, fue 17 veces mayor.

## CAPITULO 4. RESULTADOS

### 4.1. DEL DISEÑO DE MEZCLA

1. Como resultado del diseño de mezcla realizado para esta investigación se obtuvieron los contenidos óptimos de asfalto, las propiedades volumétricas de la mezcla y los valores de estabilidad y flujo para la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus y para la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, como se observan en la siguiente tabla:

	PEN 85/100 PLUS	PG 70 -28
<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>		
<b>CONTENIDO DE ASFALTO (%)</b>	6.30	6.20
<b>ESTABILIDAD (Kgf)</b>	1382.00	2047.00
<b>FLUJO (mm)</b>	14.00	14.10

Tabla 4.1–Resultados de Diseño de Mezcla.

FUENTE: PROPIA

2. A continuación se observa el contenido óptimo de asfalto para cada tipo de mezcla asfáltica, donde se corrobora que los valores son prácticamente iguales para ambos tipos de mezcla:

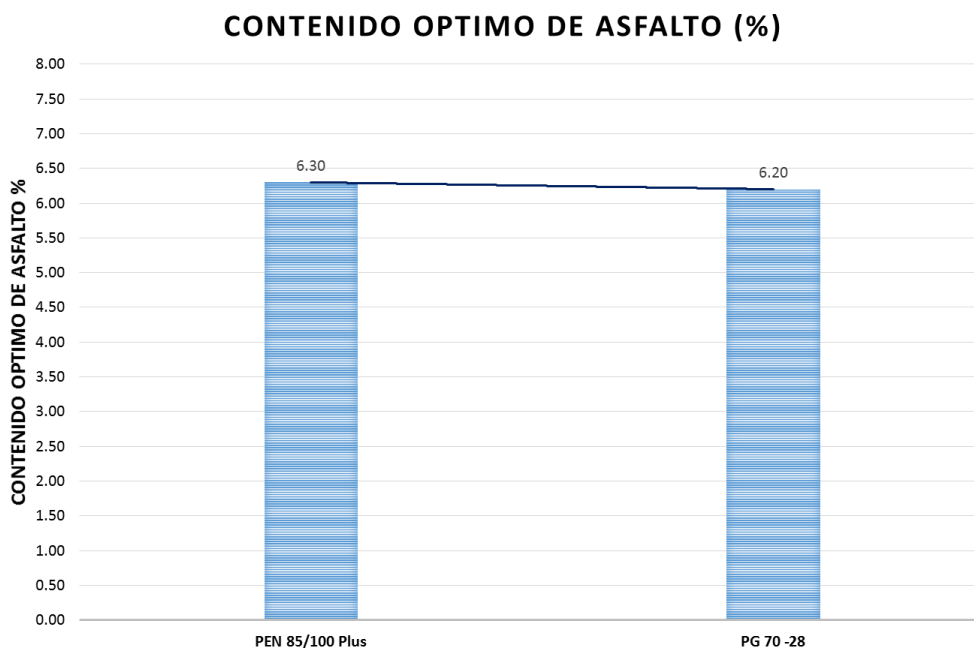
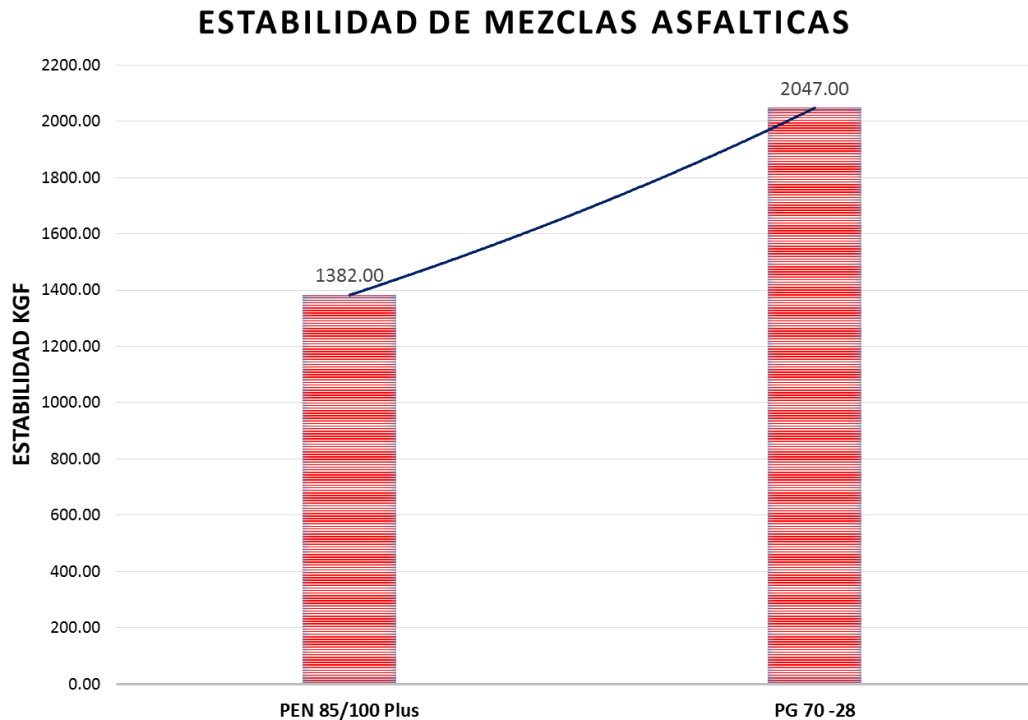


Figura 4.1 : Contenido Optimo De Asfalto

FUENTE: PROPIA

3. Los valores de Estabilidad de las mezclas asfálticas cumplen con los requisitos mínimos establecidos por las EG 2013 y por el instituto del asfalto. Sin embargo es importante resaltar que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presenta altos valores de estabilidad debido a la gran adhesividad y cohesión que presentan los asfaltos modificados con polímero, sin implicar que la mezcla asfáltica sea rígida, los valores de estabilidad son presentados en la siguiente tabla:



*Figura 4.2 : Estabilidad De Mezclas Asfálticas*

FUENTE: PROPIA

4. Los valores de Flujo de las mezclas asfálticas cumplen con los requisitos mínimos establecidos por las EG 2013 y por el instituto del asfalto, los valores de flujo obtenidos en el diseño de mezcla se observan a continuación:

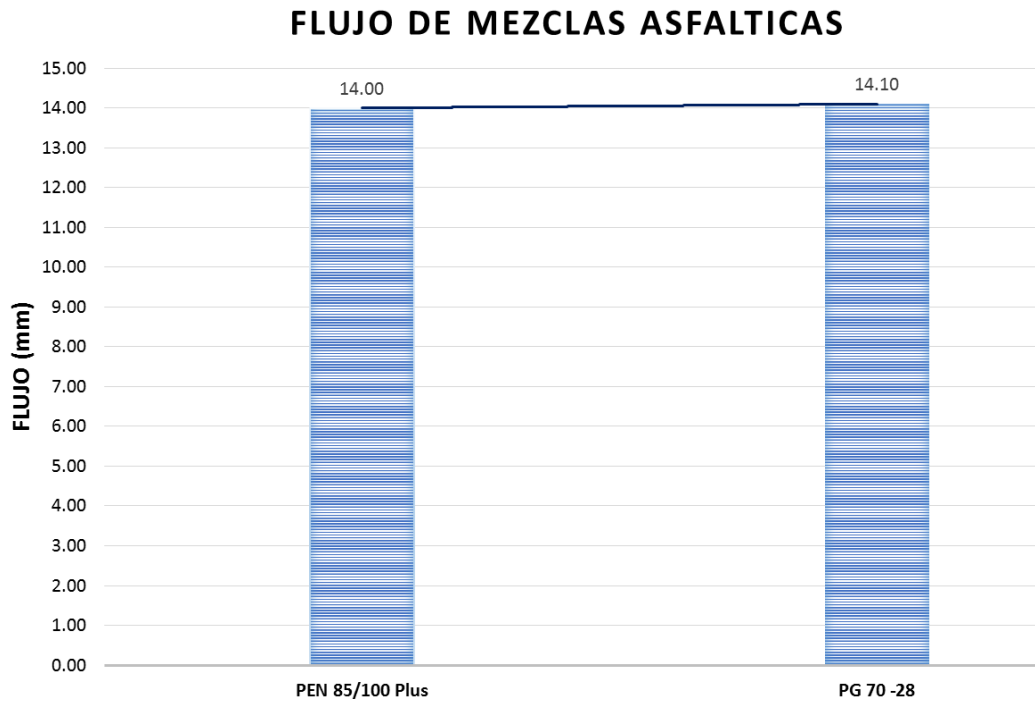


Figura 4.3 : Flujo de Mezclas Asfálticas

FUENTE: PROPIA

#### 4.2. DE LOS ENSAYOS DE DESEMPEÑO

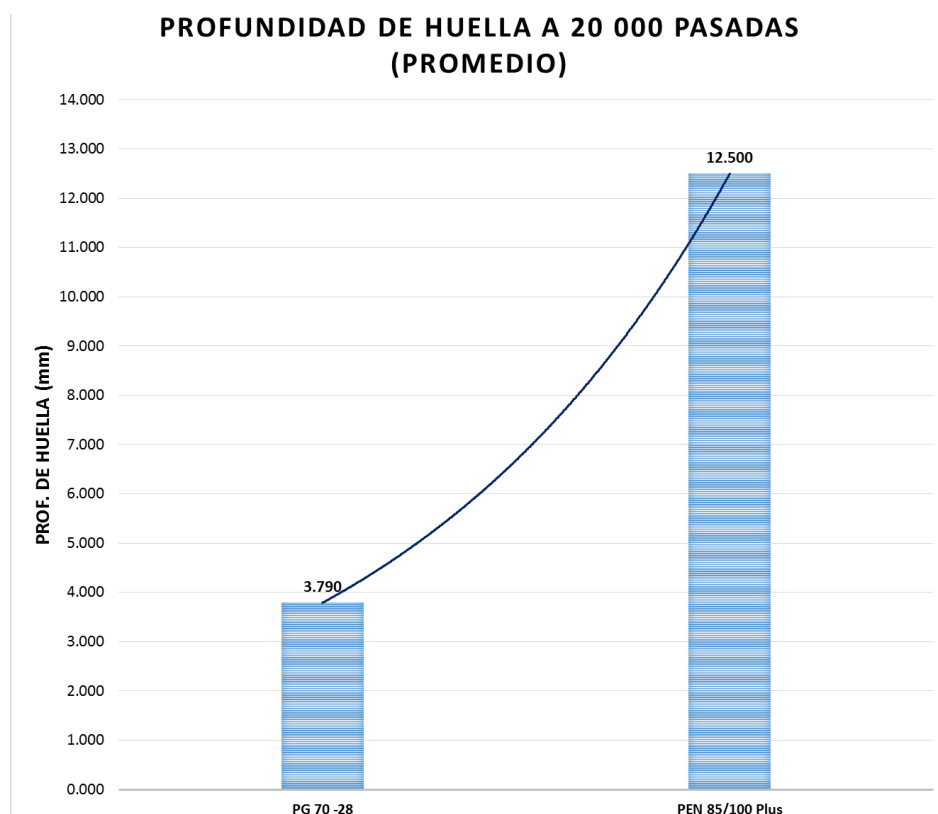
- Los resultados del ensayo de Resistencia a la Deformación Permanente, para la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus y para la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, obtenidos del ensayo de Hamburg Wheel Track muestran una diferencia marcada en términos de profundidad de ahuellamiento, donde la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presenta un excelente resultado en comparación a la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus, lo cual podemos observar en la siguiente tabla:

PROMEDIO	PEN 85/100 PLUS	PG 70 -28
<b>RESISTENCIA A LA DEFORMACION PERMANENTE</b>		
<b>N° DE PASADAS PROGRAMADAS</b>	20000	20000
<b>N° DE PASADAS RECIBIDAS</b>	15631	20000
<b>AHUELLAMIENTO PRODUCIDO (mm)</b>	12.500	3.790

Tabla 4.2–Resultados promedio de Resistencia a la deformación permanente.

FUENTE: PROPIA

Del ensayo de resistencia a la deformación permanente, se obtienen como resultado la profundidad de ahuellamiento a las 20000 pasadas o ciclos del Hamburg Wheel Track. En esta investigación los cuerpos de prueba realizados con mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus no consiguieron alcanzar las 20000 pasadas programadas debido a que a las 15631 pasadas en promedio alcanzaron la profundidad máxima de ahuellamiento permitida de 12.5mm, por otro lado los cuerpos de prueba realizados con mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 llegaron a pasar las 20000 pasadas presentando un ahuellamiento en promedio de 3.79mm, valor muy por debajo del límite máximo permitido, mostrando de esta manera la mayor resistencia a la deformación permanente de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28. Los resultados de este ensayo pueden apreciarse en la tabla 4.4.



*Figura 4.4: Profundidad de huella en briquetas de mezcla asfáltica*

FUENTE: PROPIA

6. Del ensayo de resistencia a la Fatiga, para la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus y para la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, se obtienen los siguientes resultados promedio que se exponen en la siguiente tabla:

PROMEDIO	PEN 85/100 PLUS	PG 70 -28
<b>RESISTENCIA A LA FATIGA EN VIGA DE 4 PUNTOS</b>		
<b>N° DE CICLOS RECIBIDOS</b>	186223	3244490

Tabla 4.3—Resultados de Resistencia a la fatiga en viga de 4 puntos.

FUENTE: PROPIA.

Los datos obtenidos de esta parte de la investigación son el número de aplicaciones de carga, los cuales se exponen en el siguiente cuadro:

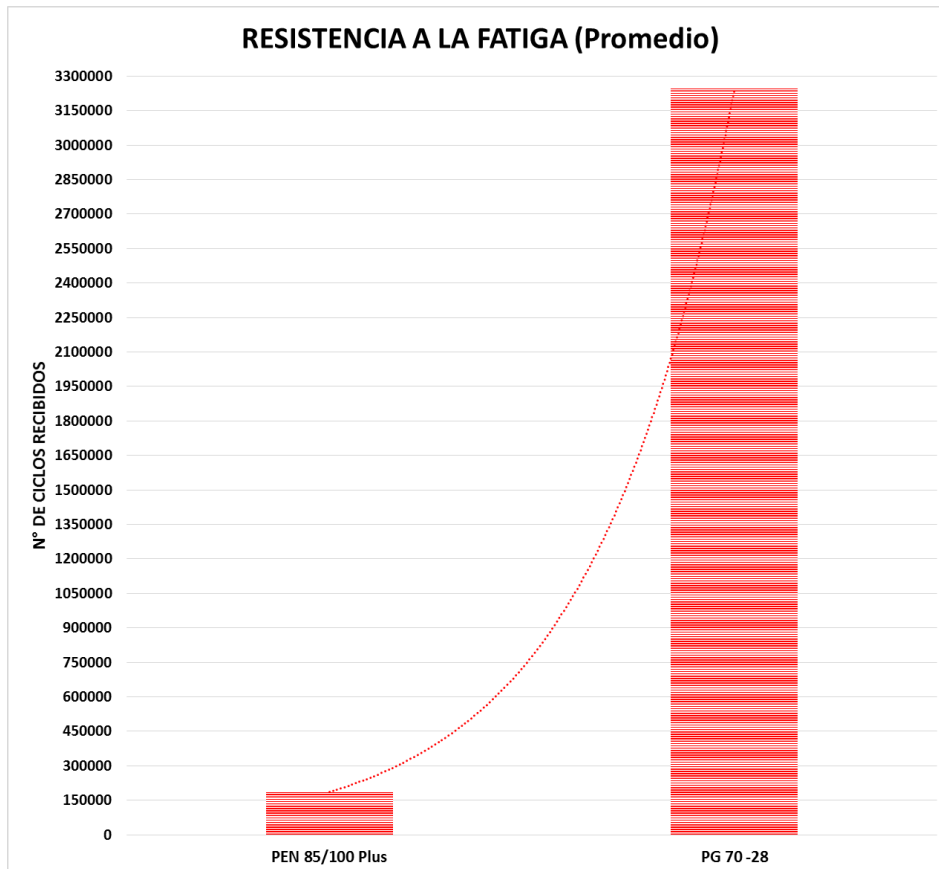


Figura 4.5 : Número de ciclos de carga recibidos en cámara de fatiga para cada tipo de mezcla asfáltica.

FUENTE: PROPIA

## CAPITULO 5. DISCUSIÓN

1. **¿En cuanto a las Características Granulométricas de los Agregados, varia de una Mezcla Asfáltica convencional PEN 85/100 Plus frente a una Mezcla Asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28?**

En cuanto a las características granulométricas de las mezclas asfálticas no tiene ninguna variación ya que se utilizaron los mismos agregados y en las mismas proporciones para ambos tipos de mezcla asfáltica, con una granulometría de tipo ASTM D 3515 huso 5 establecida en la norma, donde nuestra composición granulométrica está formada por 25% de piedra chancada 1/2", 20% de piedra chancada 3/8", 54% de arena chancada y 1% de filler, las mismas que pueden ser constatadas en los diseños de mezcla.

2. **¿En cuanto al contenido de Ligante Asfáltico, varia de una Mezcla Asfáltica convencional PEN 85/100 Plus frente a una Mezcla Asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28?**

En cuanto al contenido de ligante asfáltico obtenido del diseño Marshall, de ambos tipos de mezcla asfáltica, no presentan variaciones considerables ya que los contenidos óptimos de ambas mezclas asfálticas son muy aproximados, siendo, para la Mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus un valor de 6.3% y para nuestra Mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, 6.2%.

3. **¿Cuáles son los valores de Estabilidad y Flujo que se obtiene de la Mezcla Asfáltica convencional PEN 85/100 Plus y de la Mezcla Asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28?**

En cuanto a comportamiento mecánico, para la mezcla asfáltica convencional PEN85/100 Plus se tienen los valores de estabilidad = 1382 kgf y un flujo = 14.00 mm, valores superiores a los mínimos especificados por las especificaciones generales de carreteras EG – 2013, para la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 se tienen los valores para estabilidad = 2047 kgf y un flujo = 14.10 mm, valores de estabilidad superiores a las de una mezcla asfáltica convencional debido a la gran cohesión y adhesividad que generan los asfaltos modificados con polímero.





**4. ¿Cuál es el desempeño que se obtiene de la Mezcla Asfáltica convencional PEN 85/100 Plus y de la Mezcla Asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28?**

En lo referente al desempeño de las mezclas asfálticas esta investigación toma en consideración los valores de resistencia a la deformación permanente y resistencia a la fatiga.

En cuanto a la resistencia a la deformación permanente para la mezcla asfáltica convencional PEN85/100 Plus, se obtuvo una profundidad de ahuellamiento de 12.50 mm en un numero de 15 631 pasadas promedio, no habiendo alcanzado el requerimiento de las 20 000 pasadas establecidas para el ensayo, por otro lado, para la Mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 se obtuvo una profundidad de ahuellamiento promedio de 3.79 mm para un numero de pasadas promedio igual a 20 000, ahuellamiento muy por debajo del limite máximo estipulado, lo que garantiza la excelente resistencia al ahuellamiento de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28.

Con respecto a la resistencia a la fatiga en viga de 4 puntos, la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, logró soportar 3 244 490 ciclos de carga repetitiva sin llegar a tener una pérdida de su rigidez inicial en un 50%, por otro lado, la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus llegó a soportar únicamente 186 223 ciclos de carga repetitiva, llegando a tener una pérdida de su rigidez inicial igual al 50%, lo que nos muestra que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presenta una resistencia a la fatiga 17 veces superior a la resistencia que ofrece una mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus, demostrándose de esta manera la gran efectividad en términos de desempeño que ofrecen los asfaltos modificados con polímero SBS.

**5. ¿La presente investigación de qué manera aporta cognoscitivamente a la ingeniería civil, siendo más específicos a la rama de Pavimentos?**

Esta investigación muestra la gran diferencia en términos de comportamiento mecánico y de desempeño que tienen las mezclas asfálticas modificadas con polímero SBS, lo cual ha sido demostrada con muchas investigaciones a nivel mundial y para este caso específico se



demonstró esta gran diferencia en términos de desempeño utilizando agregados de la ciudad del Cusco con el propósito de que este trabajo sirva como un aporte a la ingeniería de pavimentos en nuestra ciudad y se tome conciencia de las soluciones más adecuadas en términos de desempeño para atender las necesidades de volumen de carga y tráfico que tienen los pavimentos de nuestra ciudad.

**6. ¿La Resistencia a la deformación permanente y Resistencia a la Fatiga pertenecen al sistema convencional de evaluación de pavimento en el Cusco y en el Perú?**

Los estudios de desempeño son un nuevo sistema de diseño y evaluación de mezclas asfálticas establecidas en el manual de carreteras EG – 2013, sin embargo el conocimiento acerca de este tema es muy escaso, ya que hasta la actualidad continua realizándose los diseños de mezcla basados únicamente en propiedades volumétricas determinados a través del método de diseño Marshall, es por ello que con las nuevas especificaciones de carreteras se pretende pasar a un sistema de diseño mucho más eficiente que nos permita no solamente obtener las propiedades volumétricas de la mezcla, sino simular a través de ensayos de laboratorio en un corto tiempo el comportamiento de la mezcla asfáltica, es por ello que la nueva metodología de diseño ya contempla los ensayos de desempeño como son: la resistencia a la deformación permanente y la resistencia a la fatiga como requisitos para un diseño de mezcla eficiente, así mismo este sistema contempla la clasificación de los ligantes asfálticos de acuerdo al PG (Performance Grade) la cual escoge el ligante asfáltico adecuado para realizar el diseño e mezcla de acuerdo a las condiciones climáticas y de tráfico de la zona de proyecto.

**GLOSARIO**

- AASHTO: *American Association of State Highways and Transportation Officials.*
- ASTM: *American Society for Testing Materials.*
- CAP: *Cemento Asfáltico de Petróleo.*
- Dish: *Pequeños contenedores o platos para asfalto para ensayo de penetración.*
- Elastómero: *Polímero Elástico.*
- MAC: *Mezcla Asfáltica en Caliente.*
- MTC: *Ministerio de Transportes y Comunicaciones.*
- PAV: *Pressure Aging Vessel.*
- PG: *Performance Grade (Grado de desempeño)*
- SBR: *Styrene Butadiene Rubber.*
- RTFOT: *Rolling Thin Film Oven Test.*
- SBS: *Styrene Butadiene Styrene.*
- UTM: *Universal Tester Machine.*

## CONCLUSIONES

1. Se demostró la hipótesis general, “El uso de una mezcla asfáltica convencional, se ve afectada por distintos factores como son, el volumen de tránsito, exceso de cargas, factores climatológicos, etc. y el uso de una mezcla asfáltica modificada con polímero de tipo SBS nos ofrecerá mejor respuesta mecánica que una mezcla asfáltica convencional, mejorando el desempeño de la carpeta asfáltica e incrementando la vida útil del pavimento.” Debido a que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 demostró tener un mejor comportamiento mecánico y mucho mayor desempeño que la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus, lo que fue demostrado a través de los resultados de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas (estabilidad y flujo), donde la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, presenta una estabilidad superior a la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus (tabla 4.1), con respecto a los resultados de desempeño se demostró que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presenta un desempeño muy superior a la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus tanto en los ensayos de deformación permanente donde presenta una resistencia 4 veces mayor, como en los ensayos de resistencia a la fatiga en viga de 4 puntos, donde presento una resistencia a la fatiga 17 veces superior, demostrando de esta manera el excelente desempeño que presentan la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28.
2. Se demostró la primera sub hipótesis, “Ambos diseños de Mezcla cuentan con el mismo contenido de ligante asfáltico, independiente de su naturaleza”, ya que el contenido de ligante asfáltico para los dos tipos de mezclas asfálticas, son prácticamente similares, teniendo 6.3% (tabla 4.1) para la mezcla asfáltica convencional PEN85/100 Plus y un valor de 6.2% (tabla 4.1) para la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28.
3. Se demostró la segunda sub hipótesis, “La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 nos ofrecerá un mayor nivel de estabilidad”, ya que el valor de estabilidad que se obtuvo en la mezcla asfáltica



modificada con polímero SBS PG 70 -28 (estabilidad igual a 2047 kgf, tabla 4.1) es mucho más elevado que el valor de estabilidad de la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 plus (estabilidad igual a 1382 kgf, tabla 4.1), lo que demuestra una mayor cohesión y adhesividad de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, la cual influye posteriormente en el desempeño de la mezcla.

4. Se demostró la tercera sub hipótesis, “La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 nos ofrecerá un menor nivel de flujo”, con respecto a esta propiedad la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS PG 70 -28 presento un flujo igual a 14.10mm (tabla 4.1), similar al resultado que se obtuvo para la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 que presento un flujo igual a 14.00 mm (tabla 4.1), lo cual podría llevarnos a la conclusión de que ambas mezclas asfálticas presentan similares valores de flujo, sin embargo, es importante aclarar que debemos tener en cuenta que estos valores de flujo se obtienen a distintos niveles de estabilidad o de carga aplicada, por ende la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS PG 70 -28 tiene un mejor comportamiento mecánico que la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus.
5. Se demostró la cuarta sub hipótesis, “La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presentará mejor desempeño en cuanto a la resistencia a la deformación permanente” ya que nuestra mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS PG 70 -28 logro pasar el ensayo de la rueda de Hamburgo, resistiendo los 20 000 ciclos o pasadas y presentando una profundidad ahuellamiento de 3.790 mm en promedio, muy superior a la mezcla asfáltica convencional PEN85/100 donde no se llegó a culminar el ensayo, debido a que alcanzo la máxima profundidad de ahuellamiento de 12.50 mm (tabla 4.2) a las 15 631 pasadas o ciclos en promedio. Por lo tanto por los resultados obtenidos se concluye que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presenta una mayor resistencia a la deformación permanente, garantizando de esta manera una resistencia a los problemas de deformación permanente o ahuellamiento que se generan en los pavimentos debido a la acción de volumen de tráfico pesado y cargas lentas.



6. Se demostró la quinta sub hipótesis, “La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presentara mejor resistencia a la fatiga” ya que la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus, presenta valores promedio de vida a la fatiga de 186 223 ciclos o aplicaciones de carga y la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presenta valores promedio de vida a la fatiga de 3 244 490 ciclos a aplicaciones de carga, demostrando de esta manera una mayor resistencia a la fatiga (17 veces superior) garantizando de esta manera el excelente comportamiento de la mezcla frente a la acción de cargas repetitivas que se presentan en un pavimento asfáltico.
7. Tanto selección de nuestra materia prima (ligante y agregados), los ensayos de laboratorio, las producciones y compactación de las mezclas asfálticas de ambos tipos y como el análisis e interpretación de todos los resultados obtenidos fueron realizados en condiciones óptimas y con controles exhaustivos, por lo que los resultados obtenidos podrían variar ligeramente cuando estos sean realizados in situ o en obra, debido a las condiciones y características peculiares y diferentes para cada escenario u obra.



## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tener cuidado durante la fase de ensayos de laboratorio con los procedimientos establecidos en la norma ya que cualquier pequeño cambio podrían a cometer errores y no obtener valores correctos.
2. Teniendo en consideración el crecimiento exponencial de volumen de tráfico en nuestro país y una política deficiente de control de pesos y medidas lo que conlleva a fallas prematuras en los pavimentos, el asfalto modificado con polímero SBS PG 70 -28 acaba siendo la alternativa más eficiente para ser utilizada en nuestras vías, ya que el uso de este tipo de mezclas garantizaran una mayor durabilidad de nuestros pavimentos ofreciendo seguridad y confort al usuario.
3. Los diseños de mezclas asfálticas no deben ser meramente de carácter volumétrico como los que en la actualidad se realizan sino que deben ser complementados con ensayos de desempeño (resistencia a la deformación permanente y resistencia a la fatiga) que nos permitan verificar el comportamiento real de la mezcla asfáltica, lo cual garantizará un diseño correcto.
4. En la etapa de diseño de mezclas se recomienda realizar una selección adecuada del agregado a ser utilizado a través de un control riguroso a sus características, debido a que este es el mayor problema que se presenta en las mezclas asfálticas, tanto en el país y principalmente en la ciudad de Cusco, donde muchas de las canteras existentes no cumplen con los requerimientos establecidos por las especificaciones generales de carreteras EG – 2013 para mezclas asfálticas en caliente debido a la naturaleza geológica del agregado y a los serios problemas en los procesos de trituración de la piedra (forma, caras fracturadas, angularidad del agregado grueso, angularidad del agregado fino, micro y macro textura del agregado, absorción, equivalente de arena, azul de metileno, etc.).
5. Se recomienda realizar mayores investigaciones con respecto a este tema verificando la incidencia de los agregados cusqueños en el desempeño de las mezclas asfálticas con el objetivo de proponer mejoras en los





procesos de producción de agregados para la producción de las mezclas asfálticas a ser utilizadas en los pavimentos asfálticos de nuestra ciudad.

6. Las fallas estudiadas y analizadas, por deformación permanente y por fatiga, pueden tener diversas causas, entre las cuales pueden estar ligadas a los agregados, sea esta por no contar con una adecuada micro y macro textura de los agregados, como también no contar con una gradación adecuada, contar con agregados con geometrías no recomendables (partículas chatas y alargadas, caras lisas y ovaladas, etc.); así mismo, también estas fallas pueden estar ligadas al ligante asfáltico, que pueden ser de naturaleza no adecuada para el empleo en la mezcla asfáltica a las condiciones requeridas, pudiéndose contar con ligantes asfálticos con susceptibilidades térmicas altas, siendo este el caso del ligante asfáltico convencional, no contando con un óptimo comportamiento y desempeño a variaciones bruscas de temperatura, por lo cual usar el ligante asfáltico modificado con polímero SBS PG 70 -28 será la solución a estos problemas ya que presenta menor susceptibilidad térmica, mayor resistencia a altas temperaturas y mejor comportamiento mecánico y desempeño en la mezcla asfáltica.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. Escalante, J. (2007). Evaluación de mezclas producidas con Ligantes asfálticos peruanos convencional PEN 60/70 y modificado por polímeros SBS tipo I 60/60 E PG 76 – 22 (Tesis de Maestría). Universidad de Sao Paulo, Brasil.
2. AASHTO. (2008). AASHTO The voice of transportation. Washington D.C.: AASHTO.
3. ASTM. (2014). ASTM. United States: ASTM international.
4. Ministerio de Transportes – MTC. (2013). *Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Lima: MTC.
5. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO (2010). *Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma CE.010 Pavimento Urbanos*. Lima: Apolo Editorial.
6. Rodríguez, J. (2014). Análisis de desempeño de mezclas asfálticas tibias (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador.
7. Wulf A. (2008). Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero (Tesis de Pregrado). Universidad Austral de Chile, Chile.
8. Alex Manrique. (2010). Caucho de estireno - butadieno - estireno (SBS). 2012, de UVA Sitio web: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/automovil/paginas/sbs.htm>
9. Hernandez R. (2010). *Metodología de la Investigación*. Mexico D.F.: McGraw Hill Editorial.
10. Martínez J.C. (2005). Estudio y Análisis del Pavimento-Aeropuerto Alejandro Velazco Astete Cusco (Tesis de Maestría). Capítulo IV: Asfaltos Convencionales y Asfaltos Modificados con Polímeros. Universidad San Antonio Abad del Cusco, Perú.
11. Universidad Nacional de Ingeniería – UNI. Minaya S. Ordoñez A. (2001). *Manual de Laboratorio Ensayo para Pavimentos*. Lima: UNI Editorial.
12. Laboratorio Nacional de Vialidad. Zúñiga R. (2015). Mezcla Asfáltica en Caliente. Lima.



ANEXOS



EXPEDIENTE MAC 011-2017-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE DISEÑO DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

SOLICITANTE : RAFAEL ESTRADA ESCALANTE
UBICACIÓN : CUSCO
PROYECTO : UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
FECHA DE RECEPCION : 21-03-17

Table with 15 columns (1, 1-A, 1-B\*, 2, 2-A, 2-B\*, 3, 3-A, 3-B\*, 4, 4-A, 4-B\*, 5, 5-A, 5-B\*) and 28 rows of asphalt mix characteristics.

OBSERVACIONES :

BETUTEK PG 70 -28

Handwritten signature of Hector Huapaya

Hector Huapaya
Laboratorista

Handwritten signature of Wendy Herencia

Wendy Herencia
Jefe del Área Técnica

Tabla 0.1 : Características de la Mezcla asfáltica Modificada con Polímeros SBS PG 70 -28

FUENTE: TDM asfaltos



EXPEDIENTE MAC  
010-2017-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

SOLICITANTE : RAFAEL ESTRADA ESCALANTE  
UBICACIÓN : CUSCO  
PROYECTO : UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE  
FECHA DE RECEPCIÓN : 21-03-17

N° BRIQUETAS	1	1-A	1-B*	2	2-A	2-B*	3	3-A	3-B*	4	4-A	4-B*	5	5-A	5-B*
1 % C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0
2 % A. GRUESO (TMN 1/2) EN PESO DE LA MEZCLA	23.75	23.75	23.75	23.63	23.63	23.63	23.50	23.50	23.50	23.38	23.38	23.38	23.25	23.25	23.25
3 % A. GRUESO (TMN 3/8) EN PESO DE LA MEZCLA	19.00	19.00	19.00	18.90	18.90	18.90	18.80	18.80	18.80	18.70	18.70	18.70	18.60	18.60	18.60
4 % A. FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA	51.30	51.30	51.30	51.03	51.03	51.03	50.76	50.76	50.76	50.49	50.49	50.49	50.22	50.22	50.22
5 % FILLER (MÍNIMO PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93
6 PESO ESPECIFICO DEL C.A. APARENTE	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016
7 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (TMN 1/2")	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628
8 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (TMN 3/8")	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620
9 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO FINO CHANCADO	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589	2.589
10 PESO ESPECIFICO DEL FILLER APARENTE	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
11 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	1142.4	1131.1	1120.9	1161.5	1134.8	1136.8	1160.3	1140.2	1145.9	1172.3	1144.8	1136.7	1164.5	1158.3	1145.1
12 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	1143.6	1132.9	1122.4	1162.5	1136.2	1137.9	1161.1	1141.2	1146.8	1172.8	1145.5	1137.5	1165.0	1158.8	1145.6
13 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	650.1	642.3	634.8	663.3	646.5	648.0	663.9	652.3	654.6	672.2	657.2	651.9	670.3	665.3	658.6
14 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm <sup>3</sup> )	493.5	490.6	487.6	499.2	489.7	489.9	497.2	488.9	492.2	500.6	488.3	485.6	494.7	493.5	487.0
15 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.315	2.306	2.299	2.327	2.317	2.320	2.334	2.332	2.328	2.342	2.344	2.341	2.354	2.347	2.351
16 PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm <sup>3</sup> ) - ASTM D 2726	2.308	2.299	2.292	2.320	2.310	2.313	2.327	2.325	2.321	2.335	2.337	2.334	2.347	2.340	2.344
17 PESO ESPECIFICO MÁXIMO -ASTM D 2041	2.462	2.462	2.462	2.443	2.443	2.443	2.423	2.423	2.423	2.404	2.404	2.404	2.386	2.386	2.386
18 % VACIOS - ASTM D 3203	6.0	6.3	6.6	4.7	5.1	5.0	3.7	3.7	3.9	2.6	2.5	2.6	1.4	1.7	1.5
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604
20 V.M.A. (%)	15.5	15.9	16.1	15.5	15.9	15.8	15.7	15.8	16.0	15.9	15.8	15.9	15.9	16.2	16.0
21 % VACIOS LLENADOS CON C.A.	61.3	60.4	59.0	69.7	67.9	68.4	76.4	76.6	75.6	83.6	84.2	83.6	91.2	89.5	90.6
22 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.661	2.661	2.661	2.660	2.660	2.660	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.656	2.656	2.656
23 ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
24 % ASFALTO EFECTIVO	4.20	4.20	4.20	4.73	4.73	4.73	5.27	5.27	5.27	5.78	5.78	5.78	6.28	6.28	6.28
25 FLUJO (0.01pulgada)	12.0	12.0	11.0	12.0	12.0	13.0	13.0	13.0	14.0	14.0	15.0	15.0	15.0	16.0	15.0
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1208	1179	1242	1327	1378	1411	1454	1369	1348	1200	1242	1157	946	988	946
27 FACTOR DE ESTABILIDAD (TABLA)	1.09	1.09	1.09	1.04	1.09	1.09	1.04	1.09	1.09	1.04	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
28 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	1317	1285	1354	1380	1502	1538	1512	1492	1469	1248	1354	1262	1031	1077	1031

OBSERVACIONES :

ASFALTO 85/100 PLUS

Hector Huapaya  
Laboratorista

Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

Tabla 0.2: Características de la mezcla asfáltica Convencional PEN 85/100 Plus.

FUENTE: TDM asfaltos



---

**Standard Method of Test for**

**Hamburg Wheel-Track Testing of  
Compacted Hot Mix Asphalt (HMA)**

---

AASHTO Designation: T 324-14



**American Association of State Highway and Transportation Officials**  
444 North Capitol Street N.W., Suite 249  
Washington, D.C. 20001



---

**Standard Method of Test for****Hamburg Wheel-Track Testing of  
Compacted Hot Mix Asphalt (HMA)****AASHTO Designation: T 324-14**

---

**1. SCOPE**

- 1.1. This test method describes a procedure for testing the rutting and moisture-susceptibility of hot mix asphalt (HMA) pavement samples in the Hamburg Wheel-Tracking Device.
- 1.2. The method describes the testing of submerged, compacted HMA in a reciprocating rolling-wheel device. This test provides information about the rate of permanent deformation from a moving, concentrated load. A laboratory compactor has been designed to prepare slab specimens. Also, the Superpave<sup>®</sup> gyratory compactor (SGC) has been designed to compact specimens in the laboratory. Alternatively, field cores having a diameter of 150 mm (6 in.), 250 mm (10 in.), or 300 mm (12 in.), or saw-cut slab specimens may be tested.
- 1.3. The test method is used to determine the premature failure susceptibility of HMA due to weakness in the aggregate structure, inadequate binder stiffness, or moisture damage. This test method measures the rut depth and number of passes to failure.
- 1.4. This test method measures the potential for moisture damage effects because the specimens are submerged in temperature-controlled water during loading.
- 1.5. *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety concerns associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

---

**2. REFERENCED DOCUMENTS**

- 2.1. *AASHTO Standards:*
- R 30, Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt (HMA)
  - T 166, Bulk Specific Gravity ( $G_{mb}$ ) of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) Using Saturated Surface-Dry Specimens
  - T 168, Sampling Bituminous Paving Mixtures
  - T 209, Theoretical Maximum Specific Gravity ( $G_{mm}$ ) and Density of Hot Mix Asphalt (HMA)
  - T 269, Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Asphalt Mixtures
  - T 312, Preparing and Determining the Density of Asphalt Mixture Specimens by Means of the Superpave Gyratory Compactor
- 2.2. *ASTM Standard:*
- D 6027, Standard Practice for Calibrating Linear Displacement Transducers for Geotechnical Purposes (Withdrawn 2013)



---

### 3. SIGNIFICANCE AND USE

- 3.1. This test measures the rutting and moisture susceptibility of an HMA specimen.

---

### 4. SUMMARY OF METHOD

- 4.1. A laboratory-compacted specimen of HMA, a saw-cut slab specimen, or a core taken from a compacted pavement is repetitively loaded using a reciprocating steel wheel. The specimen is submerged in a temperature-controlled water bath at a temperature specified by the agency. The deformation of the specimen, caused by the wheel loading, is measured.
- 4.2. The impression is plotted as a function of the number of wheel passes. An abrupt increase in the rate of deformation may coincide with stripping of the asphalt binder from the aggregate in the HMA specimen.

---

### 5. APPARATUS

- 5.1. *Hamburg Wheel-Tracking Machine*—An electrically powered machine capable of moving a 203.2-mm (8-in.) diameter, 47-mm (1.85-in.) wide steel wheel over a test specimen. The load on the wheel is  $705 \pm 4.5$  N ( $158 \pm 1.0$  lb). The wheel reciprocates over the specimen, with the position varying sinusoidally over time. The wheel makes  $52 \pm 2$  passes across the specimen per minute. The maximum speed of the wheel, reached at the midpoint of the specimen, is approximately 0.305 m/s (1 ft/s).
- 5.2. *Temperature Control System*—A water bath capable of controlling the temperature within  $\pm 1.0^\circ\text{C}$  ( $1.8^\circ\text{F}$ ) over a range of 25 to  $70^\circ\text{C}$  (77 to  $158^\circ\text{F}$ ) with a mechanical circulating system stabilizing the temperature within the specimen tank.
- 5.3. *Impression Measurement System*—A linear variable differential transducer (LVDT) device capable of measuring the depth of the impression (rut) of the wheel at the center  $\pm 1/2$  in. along the length of the wheel's path, to within 0.15 mm (0.006 in.), over a minimum range of 0 to 20 mm (0 to 0.8 in.). The system measures the rut depth, without stopping the wheel, at least every 400 passes. Rut depth is expressed as a function of the wheel passes.  
**Note 1**—Users may require the capability of impression measurements at different intervals across the length of the wheel's path on the test specimen.
- 5.4. *Wheel Pass Counter*—A non-contacting solenoid that counts each wheel pass over the specimen. The signal from this counter is coupled to the wheel impression measurement, allowing for the rut depth to be expressed as a function of the wheel passes.
- 5.5. *Slab Specimen Mounting System*—A stainless steel tray that is mounted rigidly to the machine. The mounting system must restrict shifting of the specimen to within 0.5 mm (0.02 in.) during testing and must suspend the specimen to provide a minimum of 20 mm (0.8 in.) of free circulating water on all sides.
- 5.6. *Cylindrical Specimen Mounting System*—An assembly consisting of two high-density polyethylene (HDPE) molds or plaster of paris in accordance with Section 8 to secure the specimen (as shown in Figures 1 and 2) placed in a stainless steel tray that is mounted rigidly to the machine. This mounting system must restrict shifting of the specimen to within 0.5 mm (0.02 in.) during testing and must suspend the specimen to provide a minimum of 20 mm (0.8 in.) of free circulating water on all sides.



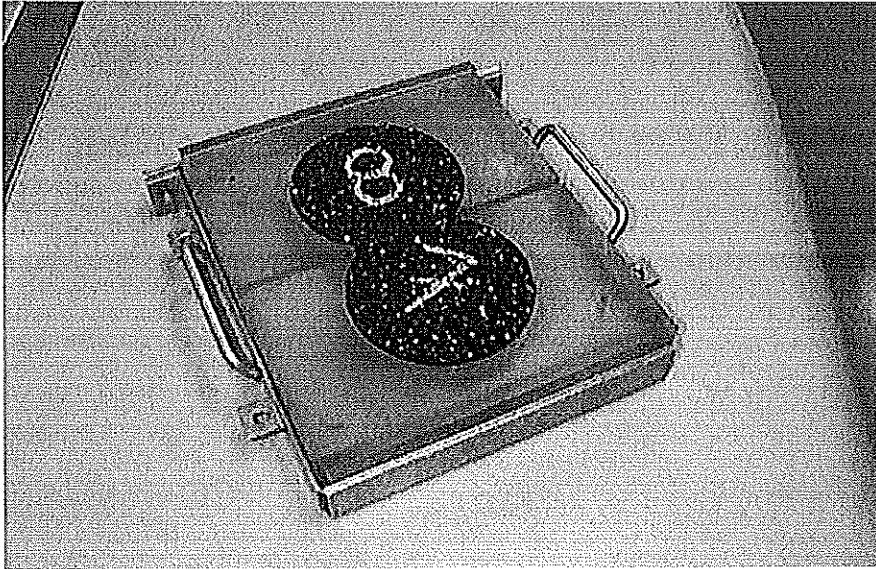


Figure 1—Cylindrical Specimen Mounting System

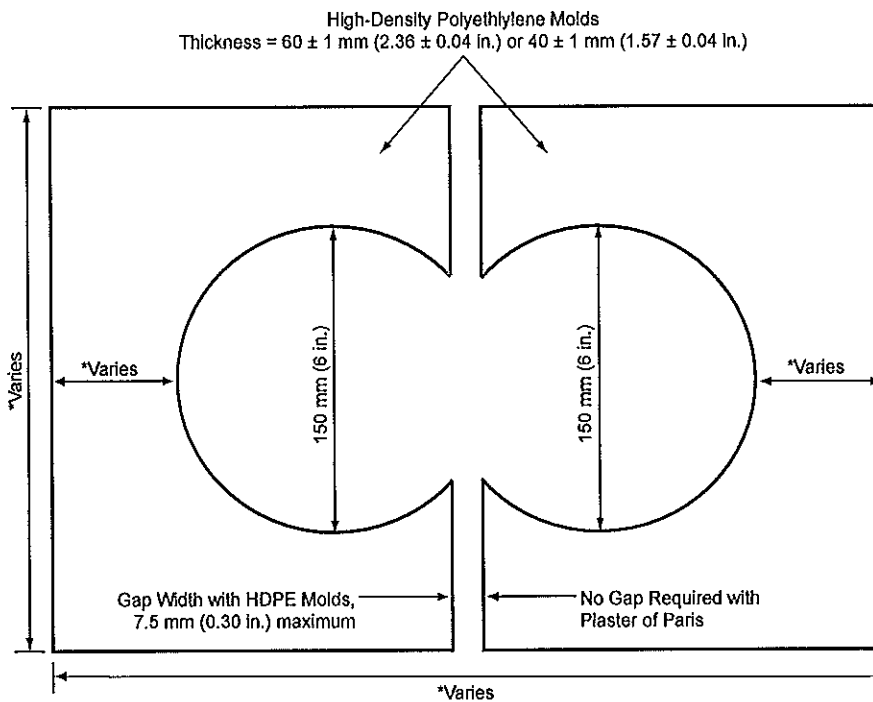


Figure 2—Schematic of Cylindrical Specimen Mounting System



- 5.7. *Linear Kneading Compactor*—A hydraulic-powered unit that uses a series of vertically aligned steel plates to compact molded asphalt mixtures into flat, rectangular slabs of predetermined thickness and density.
- 5.8. *Balance*—Balance of 12 000-g capacity, accurate to 0.1 g.
- 5.9. *Ovens*—Ovens for heating aggregate and asphalt binders.
- 5.10. *Superpave Gyrotory Compactor*—Superpave gyrotory compactor (SGC) and molds conforming to T 312.
- 5.11. Bowls, spoon, spatula, etc.

---

## 6. SPECIMEN PREPARATION

- 6.1. *Number of Test Specimens*—Prepare two test specimens for each test—either slab specimens or cylinders.
- 6.2. *Laboratory-Produced HMA:*
  - 6.2.1. Batch mixture proportions in accordance with the desired job mix formula.
  - 6.2.2. Use the mixing temperature at which the asphalt binder achieves a viscosity of  $170 \pm 20$  cSt. For modified asphalt binders, use the mixing temperature recommended by the binder manufacturer.
  - 6.2.3. Dry-mix the aggregates and mineral admixture (if used) first, then add the correct percentage of asphalt binder. Mix the materials to coat all aggregates thoroughly. (Wet-mix the aggregates if using a lime slurry or other wet material.)
  - 6.2.4. Condition test samples at the appropriate compaction temperature in accordance with the short-term conditioning procedure for mechanical properties in R 30.
  - 6.2.5. Use the compaction temperature at which the asphalt binder achieves a viscosity of  $280 \pm 30$  cSt. For modified asphalt binders, use the compaction temperature recommended by the binder manufacturer.
  - 6.2.6. *Laboratory Compaction of Specimens*—Compact either slab specimens or SGC cylindrical specimens.
    - 6.2.6.1. *Compacting Slab Specimens*—Heat molds and tools to compaction temperature. Compact slab specimens 320 mm (12.5 in.) long and 260 mm (10.25 in.) wide using a Linear Kneading Compactor (or equivalent). Specimen thickness must be at least twice the nominal maximum aggregate size, generally yielding a specimen 38 to 100 mm (1.5 to 4 in.) thick. Allow compacted slab specimens to cool at normal room temperature on a clean, flat surface until cool to the touch.
    - 6.2.6.2. *Compacting SGC Cylindrical Specimens*—Compact two 150-mm (6-in.) diameter specimens in accordance with T 312. Specimen thickness must be at least twice the nominal maximum aggregate size, generally yielding a specimen 38 to 100 mm (1.5 to 4 in.) thick. Allow compacted specimens to cool at normal room temperature on a clean, flat surface until cool to the touch.
- 6.3. *Field-Produced HMA—Loose Mix:*
  - 6.3.1. Obtain a sample of HMA in accordance with T 168.



- 6.3.2. *Laboratory Compaction of Specimens*—Compact either slab specimens or SGC cylindrical specimens.
- 6.3.2.1. *Compacting Slab Specimens*—Heat molds and tools to compaction temperature. Compact slab specimens 320 mm (12.5 in.) long and 260 mm (10.25 in.) wide using a Linear Kneading Compactor (or equivalent). Specimen thickness must be at least twice the nominal maximum aggregate size, generally yielding a specimen 38 to 100 mm (1.5 to 4 in.) thick. Allow compacted slab specimens to cool at normal room temperature on a clean, flat surface until cool to the touch.
- 6.3.2.2. *Compacting SGC Cylindrical Specimens*—Compact two 150-mm (6-in.) diameter specimens in accordance with T 312. Specimen thickness must be at least twice the nominal maximum aggregate size, generally yielding a specimen 38 to 100 mm (1.5 to 4 in.) thick. Allow compacted specimens to cool at normal room temperature on a clean, flat surface until cool to the touch.
- 6.4. *Field-Produced HMA*—Field Compacted (Core/Slab Specimen):
- 6.4.1. *Cutting Field Cores or Field Slab Specimens*—Field cores or field slab specimens consist of wet saw-cut compacted specimens taken from HMA pavements. Cut field cores 300 mm (12 in.), 250 mm (10 in.), or 150 mm (6 in.) in diameter. Cut field slab specimens approximately 260 mm (10.25 in.) wide by 320 mm (12.5 in.) long. Use a slab specimen thickness of 38 to 100 mm (1.5 to 4 in.). The height of a field core or field slab specimen is typically 38 mm (1.5 in.), but may be adjusted to fit the specimen mounting system by wet saw-cutting. Cut field cores in accordance with Section 6.4.2.
- Note 2**—Take care to load the sample so it is level to the surface of the mold. Trim the sample if it is too tall, or use shims if it is too short (supporting with plaster if needed). Calibrate the down pressure from the wheel to be 705 N (158 lb) at the center, level to the top of the mold position. Even a small change in elevation will change the down pressure significantly.
- 6.4.2. *Cutting SGC Cylindrical Specimens and Field Cores*—Cut specimens after they have cooled to room temperature using a wet or dry saw. Saw the specimens along a secant line (or chord) such that when joined together in the molds, there is no space between the cut edges. The amount of material sawed from the SGC cylindrical specimens may vary to achieve a gap width no greater than 7.5 mm (0.3 in.) between the molds.

---

## 7. DETERMINING AIR VOID CONTENT

- 7.1. Determine the bulk specific gravity of the specimens in accordance with T 166.
- 7.2. Determine the maximum specific gravity of the mixture in accordance with T 209.
- 7.3. Determine the air void content of the specimens in accordance with T 269. The recommended target air void content is  $7.0 \pm 1.0$  percent for laboratory-compacted specimens. Field specimens may be tested at the air void content at which they are obtained.

---

## 8. PROCEDURE

- 8.1. *Slab and Large Field Core Specimen Mounting*—Use plaster of paris to rigidly mount the 300 mm (12 in.), 250 mm (10 in.), or slab specimens in the mounting trays. Mix the plaster at approximately a 1:1 ratio of plaster to water. Pour the plaster to a height equal to that of the specimen to fill the air space between the specimen and the sides of the mounting tray. The slab specimen will be in direct contact with the mounting tray; however, plaster may flow underneath the specimen. The plaster underneath the specimen must not exceed 2 mm (0.08 in.). Allow the



plaster at least 1 h to set. If using other mounting material, it should be able to withstand 890 N (200 lb) of load without cracking.

- 8.2. *SGC Cylindrical and Field Core Specimen Mounting*—Place the HDPE molds in the mounting tray or use plaster of paris to rigidly mount the 150-mm (6-in.) diameter samples in the mounting tray meeting the dimensions outlined in Figure 2. If plaster of paris is used, pour the plaster to a height equal to that of the specimen to fill the air space between the specimen and the sides of the mounting tray. The specimen will be in direct contact with the mounting tray; however, plaster may flow underneath the specimen. The plaster underneath the specimen must not exceed 2 mm (0.08 in.) in thickness. Allow the plaster at least 1 h to set. For HDPE molds, insert the cut specimens in the molds. Shim the molds in the mounting tray as necessary. Secure the molds into the mounting tray by hand-tightening the bolts of the edge plate.
- 8.3. Place the mounting tray(s) with the test specimens into the device. Adjust the height of the specimen tray as recommended by the manufacturer, and secure by hand-tightening the bolts.
- 8.4. Turn the testing device and computer on.
- 8.5. Start the software used to communicate with the testing device.
- 8.6. Enter the pertinent project information and testing configuration requirements.
- 8.6.1. Select the test temperature based upon the applicable specifications.
- 8.6.2. Select the maximum allowable rut depth based upon the applicable specifications.
- 8.6.3. Select the maximum number of passes based on the applicable specifications.
- 8.6.4. Enter a start delay of 30 min to precondition the test specimens. The temperature of the specimens in the mounting tray will be the test temperature selected in Section 8.6.1 upon completion of this preconditioning period.
- 8.7. Proceed to Section 8.8 to operate the testing device in “Auto” mode. Proceed to Section 8.9 to operate the testing device in “Manual” mode.
- Note 3**—Perform the test in “Auto” mode for testing devices manufactured in the United States later than 1998, where software will automatically open and close the valves to fill and drain the water bath. Perform the test in “Manual” mode for devices made available to the United States prior to 1998.
- 8.8. *Performing the test in Auto Mode:*
- 8.8.1. Adjust the height of the LVDT in accordance with the manufacturer’s recommendations.
- Note 4**—The LVDT for each steel wheel is automatically zeroed at the start of the test. The software will display a zero at the start of the test.
- 8.8.2. If using cylindrical specimens, lower the wheels onto the edge of the test specimens such that a majority of the wheel is in contact with the HDPE molds in the mounting tray. If using slabs, lower the wheels onto the specimen no more than 5 min prior to the beginning of the test. In either case, the sample must not be submerged longer than  $60 \pm 5$  min prior to starting the test. This includes the conditioning time.
- 8.8.3. Start the test by selecting the “Start” button of the testing device software.
- Note 5**—The start delay time or preconditioning time will start after the water heats to the test temperature selected in Section 8.6.1.



- 8.8.4. The wheel-tracking device will stop when 20,000 passes have occurred, when some other pre-determined number of passes has occurred, or when the test has achieved the maximum impression depth established in Section 8.6.2. The testing device software automatically saves the test data file.
- 8.8.5. Raise the wheel(s) and remove the specimen mounting tray(s) and rutted specimens.
- 8.8.6. Proceed to Section 8.10.
- 8.9. *Performing the Test in Manual Mode:*
- 8.9.1. Close the drain valve(s) and fill the water bath of the wheel-tracking device with water until the float device(s) raises to a horizontal position.  
**Note 6**—Adjust the amount of hot and cold water if necessary, as the water temperature may vary.
- 8.9.2. Precondition the test specimens in the water bath for 30 min after the water has reached the selected test temperature. Do not place the sample in the conditioning bath more than  $60 \pm 5$  min prior to beginning the test. This includes the preconditioning time.
- 8.9.3. Lower the wheels onto the specimens after the test specimens have preconditioned at the selected test temperature for 30 min. For machines that start automatically after the selected preconditioning time, it is allowable to lower the wheels before the preconditioning cycle. The wheel must not be in contact with the specimen for more than 5 min prior to starting the wheel.
- 8.9.4. Ensure the micro-control unit's LVDT reads between 10 and 18 mm (0.4 and 0.7 in.). Adjust the LVDT height to obtain this reading. Loosen the two screws on the LVDT mount and slide the LVDT up or down to the desired height. Tighten the screws.
- 8.9.5. Start the test.
- 8.9.6. The wheel-tracking device will stop when 20,000 passes have occurred, when some other pre-determined number of passes has occurred, or when the test has achieved the maximum impression depth established in Section 8.6.2. The device will also disengage if the average LVDT displacement (read from the micro-control unit, not the screen) is 40.90 mm (1.6 in.) or greater for an individual specimen. Note that the screen readout subtracts the initial LVDT reading from the total displacement.
- 8.9.7. Open the valve(s) beneath the tanks and drain the water bath. Raise the wheel(s) and remove the specimen mounting tray(s) and rutted specimens.
- 8.10. Clean the water bath, heating coils, wheels, and temperature probe with water and scouring pads or per the manufacturer's recommendations. Use a wet-dry vacuum to remove particles that have settled to the bottom of the baths. Clean the filter element and spacers after every test or per the manufacturer's recommendations. Do not use solvents to clean the water bath.
- 8.11. Turn the wheels after each test, so the same section of the wheel surface is not in contact with the test specimen from test to test. This rotation will provide for even wear over the entire wheel. The test should operate with a smooth movement across the test specimen.

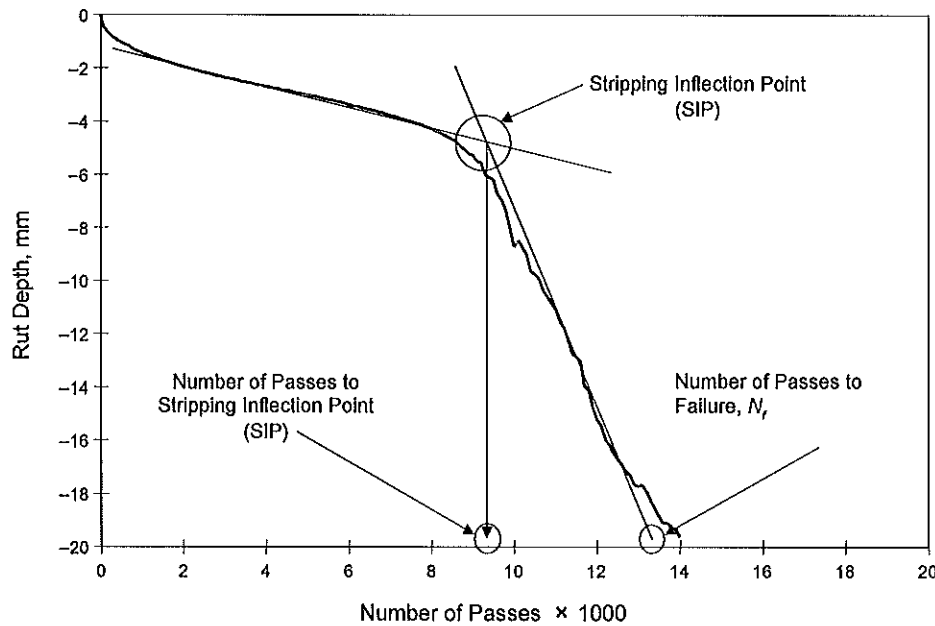


**9. CALCULATIONS**

- 9.1. For the purposes of this method, a “test” is defined as:
- a) Two 320-mm (12.5-in.) long by 260-mm (10.25-in.) wide slab specimens, two 250-mm (10-in.) core specimens, or two 300-mm (12-in.) core specimens representing similar material run in the Hamburg Wheel-Tracking Device simultaneously; or
  - b) Four 150-mm (6-in.) gyratory specimens or four 100-mm (4-in.) core specimens grouped in pairs (1 and 1a) representing similar material run in the Hamburg Wheel-Tracking Device simultaneously.

The test results will be reported as the average value of both specimens (a) or both pairs of specimens (b).

- 9.2. Plot the rut depth versus number of passes for each test. Figure 3 shows a typical plot of the output produced by the Hamburg Wheel-Tracking Device. From this plot, obtain the following values:
- slope and intercept of the first steady-state portion of the curve, and
  - slope and intercept of the second steady-state portion of the curve.



**Figure 3**—Hamburg Curve with Test Parameters

- 9.3. Calculate the following test parameters, all expressed in “Passes.”
- $$\text{stripping inflection point (SIP)} = \frac{\text{intercept (second portion)} - \text{intercept (first portion)}}{\text{slope (first portion)} - \text{slope (second portion)}} \quad (1)$$

where:

Failure rut depth is the specified maximum allowable rut depth for the test.

**Note 7**—The specifying agency may choose to define a “test” as an individual slab or core specimen or as a pair of specimens as defined in Section 9.1.



---

**10. REPORT**

- 10.1. *The report must include the following parameters:*
- 10.1.1. HMA Production (field or lab);
  - 10.1.2. Compaction method (slab or SGC cylindrical specimen);
  - 10.1.3. Number of passes at maximum impression;
  - 10.1.4. Maximum impression;
  - 10.1.5. Test temperature;
  - 10.1.6. Specimen(s) air voids;
  - 10.1.7. Type and amount of antistripping additive used;
  - 10.1.8. Creep slope;
  - 10.1.9. Strip slope; and
  - 10.1.10. Stripping inflection point.

---

**11. PRECISION AND BIAS**

- 11.1. Work is underway to develop precision and bias statements for this standard.  
**Note 8**—Field-compacted samples have proven to be insufficiently controlled for inclusion in a precision and bias statement.

---

**12. KEYWORDS**

- 12.1. Compacted hot mix asphalt; moisture-susceptibility; rutting; wheel-track testing.

---

**APPENDIXES**

(Nonmandatory Information)

---

**X1. MAINTENANCE**

- X1.1. Grease all of the grease fittings with fresh grease every 20 tests (not to exceed 2 months) per the manufacturer's recommendations.

---

**X2. CALIBRATION/EQUIPMENT VERIFICATION**

- X2.1. Verify the water bath temperature is within  $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$  ( $1.8^{\circ}\text{F}$ ) of the temperature readout from the testing device or software every 6 months. Measure the water bath temperature at four locations per the manufacturer's recommendations. Average the four measurements and report this as the water bath verification temperature.





- X2.2. Verify the LVDT calibration in accordance with ASTM D 6027 or per the manufacturer's recommendations.
- X2.3. Verify the load from the wheel loading assembly at the level position per the manufacturer's recommendations to be  $705 \pm 4.5$  N ( $158 \pm 1.0$  lb). A calibrated load cell, accurate to 0.4 N (0.1 lb) is sufficient for this check.
- X2.4. Verify that the wheel is reciprocating on the test sample at  $52 \pm 2$  passes per minute.



---

**Standard Method of Test for**

**Preparing and Determining the  
Density of Asphalt Mixture  
Specimens by Means of the  
Superpave Gyrotory Compactor**

---

AASHTO Designation: T 312-14



American Association of State Highway and Transportation Officials  
444 North Capitol Street N.W., Suite 249  
Washington, D.C. 20001



---

**Standard Method of Test for****Preparing and Determining the Density of  
Asphalt Mixture Specimens by Means of the  
Superpave Gyratory Compactor**

AASHTO Designation: T 312-14



---

**1. SCOPE**

- 1.1. This standard covers the compaction of cylindrical specimens of asphalt mixtures using the Superpave gyratory compactor.
- 1.2. *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety concerns associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

---

**2. REFERENCED DOCUMENTS**

- 2.1. *AASHTO Standards:*
- M 231, Weighing Devices Used in the Testing of Materials
  - R 30, Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt (HMA)
  - R 35, Superpave Volumetric Design for Asphalt Mixtures
  - R 47, Reducing Samples of Hot Mix Asphalt (HMA) to Testing Size
  - T 166, Bulk Specific Gravity ( $G_{mb}$ ) of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) Using Saturated Surface-Dry Specimens
  - T 168, Sampling Bituminous Paving Mixtures
  - T 209, Theoretical Maximum Specific Gravity ( $G_{mm}$ ) and Density of Hot Mix Asphalt (HMA)
  - T 275, Bulk Specific Gravity ( $G_{mb}$ ) of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) Using Paraffin-Coated Specimens
  - T 316, Viscosity Determination of Asphalt Binder Using Rotational Viscometer
  - T 344, Evaluation of Superpave Gyratory Compactor (SGC) Internal Angle of Gyration Using Simulated Loading
- 2.2. *Other Standards:*
- ANSI/ASME B89.1.6, Measurement of Qualified Plain Internal Diameters for Use as Master Rings and Ring Gages
  - ANSI/ASME B89.4.19, Performance Evaluation of Laser-Based Spherical Coordinate Measurement Systems
  - ASME B46.1, Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)

---

### 3. SIGNIFICANCE AND USE

- 3.1. This standard is used to prepare specimens for determining the mechanical and volumetric properties of asphalt mixtures. The specimens simulate the density, aggregate orientation, and structural characteristics obtained in the actual roadway when proper construction procedure is used in the placement of the paving mix.
- 3.2. This test method may be used to monitor the density of test specimens during their preparation. It may also be used for field control of an asphalt mixture production process.

---

### 4. APPARATUS

- 4.1. *Superpave Gyrotory Compactor*—An electrohydraulic or electromechanical compactor with a ram and ram heads as described in Section 4.3. The axis of the ram shall be perpendicular to the platen of the compactor. The ram shall apply and maintain a pressure of  $600 \pm 18$  kPa perpendicular to the cylindrical axis of the specimen during compaction (Note 1). The compactor shall tilt the specimen molds at an average internal angle of  $20.2 \pm 0.35$  mrad ( $1.16 \pm 0.02$  degrees), determined in accordance with T 344. The compactor shall gyrate the specimen molds at a rate of  $30.0 \pm 0.5$  gyrations per minute throughout compaction.
- Note 1**—This stress calculates to  $10\,600 \pm 310$  N total force for 150-mm specimens.
- 4.1.1. *Specimen Height Measurement and Recording Device*—When specimen density is to be monitored during compaction, a means shall be provided to continuously measure and record the height of the specimen to the nearest 0.1 mm during compaction once per gyration.
- 4.1.2. The system may include a connected printer capable of printing test information, such as specimen height per gyration. In addition to a printer, the system may include a computer and suitable software for data acquisition and reporting.
- 4.2. *Specimen Molds*—Specimen molds shall have steel walls that are at least 7.5 mm thick and are hardened to at least a Rockwell hardness of C48. The initial inside finish of the molds shall have a root mean square (rms) of  $1.60 \mu\text{m}$  or smoother when measured in accordance with ASME B46.1 (see Note 2). New molds shall be manufactured to have an inside diameter of 149.90 to 150.00 mm. The inside diameter of in-service molds shall not exceed 150.2 mm. Molds shall be at least 250 mm in length. The inside diameter and length of the molds shall be measured in accordance with Annex A.
- Note 2**—One source of supply for a surface comparator, which is used to verify the rms value of  $1.60 \mu\text{m}$ , is GAR Electroforming, Danbury, Connecticut.
- 4.3. *Ram Heads and End Plates*—Ram heads and end plates shall be fabricated from steel with a minimum Rockwell hardness of C48. The ram heads shall stay perpendicular to their axis. The platen side of each end plate shall be flat and parallel to its face. All ram and end plate faces (the sides presented to the specimen) shall be flat to meet the smoothness requirement in Section 4.2 and shall have a diameter of 149.50 to 149.75 mm.
- 4.4. *Thermometers*—Armored, glass, or dial-type thermometers with metal stems for determining the temperature of aggregates, binder, and HMA between 10 and 232°C.
- 4.5. *Balance*—A balance meeting the requirements of M 231, Class G 5, for determining the mass of aggregates, binder, and asphalt mixtures.



- 4.6. *Oven*—An oven, thermostatically controlled to  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ , for heating aggregates, binder, asphalt mixtures, and equipment as required. The oven shall be capable of maintaining the temperature required for mixture conditioning in accordance with R 30.
- 4.7. *Miscellaneous*—Flat-bottom metal pans for heating aggregates, scoop for batching aggregates, containers (grill-type tins, beakers, containers for heating asphalt), large mixing spoon or small trowel, large spatula, gloves for handling hot equipment, paper disks, mechanical mixer (optional), lubricating materials recommended by the compactor manufacturer.
- 4.8. *Maintenance*—In addition to routine maintenance recommended by the manufacturer, check the Superpave gyratory compactor's mechanical components for wear, and perform repair, as recommended by the manufacturer.

---

## 5. HAZARDS

- 5.1. Use standard safety precautions and protective clothing when handling hot materials and preparing test specimens.

---

## 6. STANDARDIZATION

- 6.1. Items requiring periodic verification of calibration include the ram pressure, angle of gyration, gyration frequency, LVDT (or other means used to continuously record the specimen height), and oven temperature. Verification of the mold and platen dimensions and the inside finish of the mold are also required. When the computer and software options are used, periodically verify the data-processing system output using a procedure designed for such purposes. Verification of calibration, system standardization, and quality checks may be performed by the manufacturer, other agencies providing such services, or in-house personnel. Frequency of verification shall follow the manufacturer's recommendations.
- 6.2. The angle of gyration refers to the internal angle (the tilt of the mold with respect to the end plate surface within the gyratory mold). The calibration of the internal angle of gyration shall be verified in accordance with T 344.

---

## 7. PREPARATION OF APPARATUS

- 7.1. Immediately prior to the time when the asphalt mixture is ready for placement in the mold, turn on the main power for the compactor for the manufacturer's required warm-up period.
- 7.2. Verify the machine settings are correct for angle, pressure, and number of gyrations.
- 7.3. Lubricate any bearing surfaces as needed per the manufacturer's instructions.
- 7.4. When specimen height is to be monitored, the following additional item of preparation is required. Immediately prior to the time when the asphalt mixture is ready for placement in the mold, turn on the device for measuring and recording the height of the specimen, and verify the readout is in the proper units, mm, and the recording device is ready. Prepare the computer, if used, to record the height data, and enter the header information for the specimen.



---

## 8. HMA MIXTURE PREPARATION

### 8.1. *Laboratory Prepared:*

8.1.1. Weigh the appropriate aggregate fractions into a separate pan, and combine them to the desired batch weight. The batch weight will vary based on the ultimate disposition of the test specimens. If a target air void level is desired, as would be the case for Superpave mix analysis and performance specimens, batch weights will be adjusted to create a given density in a known volume. If the specimens are to be used for the determination of volumetric properties, the batch weights will be adjusted to result in a compacted specimen having dimensions of 150 mm in diameter and  $115 \pm 5$  mm in height at the desired number of gyrations.

**Note 3**—It may be necessary to produce a trial specimen to achieve this height requirement. Generally, 4500 to 4700 g of aggregate are required to achieve this height for aggregates with combined bulk specific gravities of 2.550 to 2.700, respectively.

8.1.2. Place the aggregate and binder container in the oven, and heat them to the required mixing temperature.

8.1.2.1. The mixing temperature range is defined as the range of temperatures where the unaged binder has a viscosity of  $0.17 \pm 0.02$  Pa·s when measured in accordance with T 316.

**Note 4**—Modified asphalts may not adhere to the equiviscosity requirements noted, and the manufacturer's recommendations should be used to determine mixing and compaction temperatures.

8.1.3. Charge the mixing bowl with the heated aggregate from one pan and dry-mix thoroughly. Form a crater in the dry-blended aggregate, and weigh the required amount of binder into the mix. Immediately initiate mixing.

8.1.4. Mix the aggregate and binder as quickly and thoroughly as possible to yield an asphalt mixture having a uniform distribution of binder. As an option, mechanical mixing may be used.

8.1.5. After completing the mixture preparation, perform the required mixture conditioning in accordance with R 30.

8.1.6. Place the compaction mold(s) and base plate(s) in an oven at the required compaction temperature for a minimum of 30 min prior to the estimated beginning of compaction (during the time the mixture is being conditioned in accordance with R 30).

8.1.7. Following the mixture conditioning period specified in R 30, if the mixture is at the compaction temperature, proceed immediately with the compaction procedure as outlined in Section 9. If the compaction temperature is different from the mixture conditioning temperature used in accordance with R 30, place the mix in another oven at the compaction temperature for a brief time (maximum of 30 min) to achieve the required temperature.

8.1.7.1. The compaction temperature is the midpoint of the range of temperatures where the unaged binder has a viscosity of  $0.28 \pm 0.03$  Pa·s when measured in accordance with T 316. (See Note 4.)

### 8.2. *Plant Produced:*

8.2.1. Place the compaction mold(s) and base plates(s) in an oven at the required compaction temperature (see Section 8.1.7.1).

8.2.2. Obtain the sample in accordance with T 168.



- 8.2.3. Reduce the sample in accordance with R 47.
- 8.2.4. Place the sample into a pan to a uniform thickness.
- 8.2.5. Bring the HMA to the compaction temperature range by careful, uniform heating in an oven immediately prior to molding.

---

## 9. COMPACTION PROCEDURE

- 9.1. When the compaction temperature is achieved, remove the heated mold, base plate, and upper plate (if required) from the oven. Place the base plate and a paper disk in the bottom of the mold.
- 9.2. Place the mixture into the mold in one lift. Care should be taken to avoid segregation in the mold. After all the mix is in the mold, level the mix, and place another paper disk and upper plate (if required) on top of the leveled material.
- 9.3. Load the charged mold into the compactor, and center the loading ram.
- 9.4. Apply a pressure of  $600 \pm 18$  kPa on the specimen.
- 9.5. Apply a  $20.2 \pm 0.35$  mrad ( $1.16 \pm 0.02$  degrees) average internal angle to the mold assembly, and begin the gyratory compaction.
- 9.6. Allow the compaction to proceed until the desired number of gyrations specified in R 35 is reached and the gyratory mechanism shuts off.
- 9.7. Remove the angle from the mold assembly, remove the ram pressure, and retract the loading ram in the order specified by the SGC manufacturer (the preceding steps may be done automatically by the compactor on some models of SGCs). Remove the mold from the compactor (if required), and extrude the specimen from the mold.
- Note 5**—No additional gyrations with the angle removed are required unless specifically called for in another standard referencing T 312. The extruded specimen may not be a right angle cylinder. Specimen ends may need to be sawed to conform to the requirements of specific performance tests.
- Note 6**—The specimens can be extruded from the mold immediately after compaction for most asphalt mixtures. However, a cooling period of 5 to 10 min in front of a fan may be necessary before extruding some specimens to ensure the specimens are not damaged.
- 9.8. Remove the paper disks from the top and bottom of the specimens.
- Note 7**—Before reusing the mold, place it in an oven for at least 5 min. The use of multiple molds will speed up the compaction process.

---

## 10. DENSITY PROCEDURE

- 10.1. Determine the maximum specific gravity ( $G_{mm}$ ) of the loose mix in accordance with T 209 using a companion sample. The companion sample shall be conditioned to the same extent as the compaction sample.
- 10.2. Determine the bulk specific gravity ( $G_{mb}$ ) of the specimen in accordance with T 166 or T 275 as appropriate.
- 10.3. When the specimen height is to be monitored, record the specimen height to the nearest 0.1 mm after each revolution.





---

**11. DENSITY CALCULATIONS**

- 11.1. Calculate the uncorrected relative density ( $\%G_{mmx}$ ) at any point in the compaction process using the following equation:

$$\%G_{mmx} = \frac{W_m}{V_{mx} G_{mm} G_m} \times 100 \quad (1)$$

where:

- $\%G_{mmx}$  = uncorrected relative density at any point during compaction expressed as a percent of the maximum theoretical specific gravity;
- $W_m$  = mass of the specimen, g;
- $G_{mm}$  = theoretical maximum specific gravity of the mix;
- $G_m$  = unit weight of water, 1 g/cm<sup>3</sup>;
- $x$  = number of gyrations; and
- $V_{mx}$  = volume of the specimen, in cm<sup>3</sup>, at any point based on the diameter ( $d$ ) and height ( $h_x$ ) of the specimen at that point (use "mm" for height and diameter measurements).

It can be expressed as:

$$V_{mx} = \frac{\pi d^2 h_x}{4 \times 1000} \quad (2)$$

**Note 8**—This formula gives the volume in cm<sup>3</sup> to allow a direct comparison with the specific gravity.

- 11.2. At the completion of the bulk specific gravity test ( $G_{mb}$ ), determine the relative density ( $\%G_{mmx}$ ) at any point in the compaction process as follows:

$$\%G_{mmx} = \frac{G_{mb} h_m}{G_{mm} h_x} \times 100 \quad (3)$$

where:

- $\%G_{mmx}$  = corrected relative density expressed as a percent of the maximum theoretical specific gravity;
- $G_{mb}$  = bulk specific gravity of the extruded specimen;
- $h_m$  = height in millimeters of the extruded specimen; and
- $h_x$  = height in millimeters of the specimen after  $x$  gyrations.

---

**12. REPORT**

- 12.1. *Report the following information in the compaction report, if applicable:*
- 12.1.1. Project name;
- 12.1.2. Date of the test;
- 12.1.3. Start time of the test;
- 12.1.4. Specimen identification;
- 12.1.5. Percent binder in specimen, nearest 0.1 percent;
- 12.1.6. Average diameter of the mold used ( $d$ ), nearest 1.0 mm;



- 12.1.7. Mass of the specimen ( $W_m$ ), nearest 0.1 g;
- 12.1.8. Maximum specific gravity ( $G_{mm}$ ) of the specimen by T 209, nearest 0.001;
- 12.1.9. Bulk specific gravity ( $G_{mb}$ ) of the specimen by T 166 or T 275, nearest 0.001;
- 12.1.10. Height of the specimen after each gyration ( $h_x$ ), nearest 0.1 mm;
- 12.1.11. Relative density ( $\%G_{mm}$ ) expressed as a percent of the theoretical maximum specific gravity ( $G_{mm}$ ), nearest 0.1 percent; and
- 12.1.12. Gyration angle, nearest 0.2 mrad (0.01 degrees), and the method used to determine or verify the gyration angle.

---

**13. PRECISION AND BIAS**

- 13.1. *Precision:*
- 13.2. *Single-Operator Precision*—The single operator standard deviations (1s limits) for relative densities at  $N_{lm}$  and  $N_{des}$  for mixtures containing aggregate with an absorption of less than 1.5 percent are shown in Table 1. The results of two properly conducted tests on the same material, by the same operator, using the same equipment, should be considered suspect if they differ by more than the d2s single operator limits shown in Table 1.
- 13.3. *Multilaboratory Precision*—The multilaboratory standard deviations (1s limits) for relative densities at  $N_{lm}$  and  $N_{des}$  for mixtures containing aggregate with an absorption of less than 1.5 percent are shown in Table 1. The results of two properly conducted tests on the same material, by different operators, using different equipment, should be considered suspect if they differ by more than the d2s multilaboratory limits shown in Table 1.

**Table 1**—Precision Estimates<sup>a</sup>

	1s limit Relative Density, %	d2s limit Relative Density, %
<i>Single-operator precision:</i>		
12.5-mm nominal max agg.	0.3	0.9
19.0-mm nominal max agg.	0.5	1.4
<i>Multilaboratory precision:</i>		
12.5-mm nominal max agg.	0.6	1.7
19.0-mm nominal max agg.	0.6	1.7

<sup>a</sup> Based on an interlaboratory study described in NCHRP Research Report 9-26 involving 150-mm diameter specimens with 4 to 5 percent air voids, 26 laboratories, two materials (a 12.5-mm mixture and a 19.0-mm mixture), and three replicates. Specimens were prepared in accordance with T 312-04. The angle of gyration was verified using Method A, external angle.

- 13.4. *Bias*—No information can be presented on the bias of the procedure because no material having an accepted reference value is available.

---

**14. KEYWORDS**

- 14.1. Compaction; density; gyratory.



---

**ANNEX A—EVALUATING SUPERPAVE GYRATORY  
COMPACTOR (SGC) MOLDS**

---

(Mandatory Information)

---

**A1. SCOPE**

- A1.1. This Annex covers the evaluation of the molds as a check for compliance with the requirements outlined in Sections 4.2 and 4.3. Measurements of the mold inside diameter and end-plate diameters as well as visual inspection of critical surface conditions are included. Minimum frequency of this evaluation is 12 months or 80 hours of operation. The inside diameter of the molds may be measured using a three-point bore gauge or a Coordinate Measuring Machine (CMM). See Annexes A4 and A5 for additional procedures for using these devices.
- Note A1**—Because CMMs are typically limited to manufacturers, it is considered best practice for a lab to also use the three-point bore method as a check before putting a mold into service.

---

**A2. APPARATUS**

- A2.1. *Three-Point Internal Bore Gauge*—Minimum resolution shall be 0.0025 mm (0.0001 in.). This equipment is applicable only if measuring the inside diameter of molds according to Annex A4.
- A2.2. *Calibrated Master Ring*—A calibrated master ring of the same nominal size as the mold diameter shall be used to set the measuring instrument reference for each series of measurements. A 150-mm ANSI/ASME B89.1.6 Class Z (0.00635 mm/0.00025 in.) standard is acceptable for 150-mm sized molds. The master ring shall be calibrated at a frequency no less than every 36 months, measured to a minimum resolution of 0.001 mm (0.00004 in.). This equipment is applicable only if measuring the inside diameter of molds according to Annex A4.
- A2.3. *Length Measurement Instrument (Outside Calipers or Micrometer)*—With appropriate range and a minimum resolution of 0.025 mm (0.001 in.). The length measurement instrument shall be standardized annually.
- A2.4. *Coordinate Measuring Machine (CMM)*—Capable of performing the three-point diametral measurement at the vertical locations specified in Figure A4.2 with a minimum resolution of 0.0025 mm (0.0001 in.). The CMM shall be calibrated annually per ASME B89.4.19 (or equivalent for CMM type). This equipment is applicable only if measuring the inside diameter of molds according to Annex A5 or measuring the outside diameter of the mold end plates according to Annex A6.

---

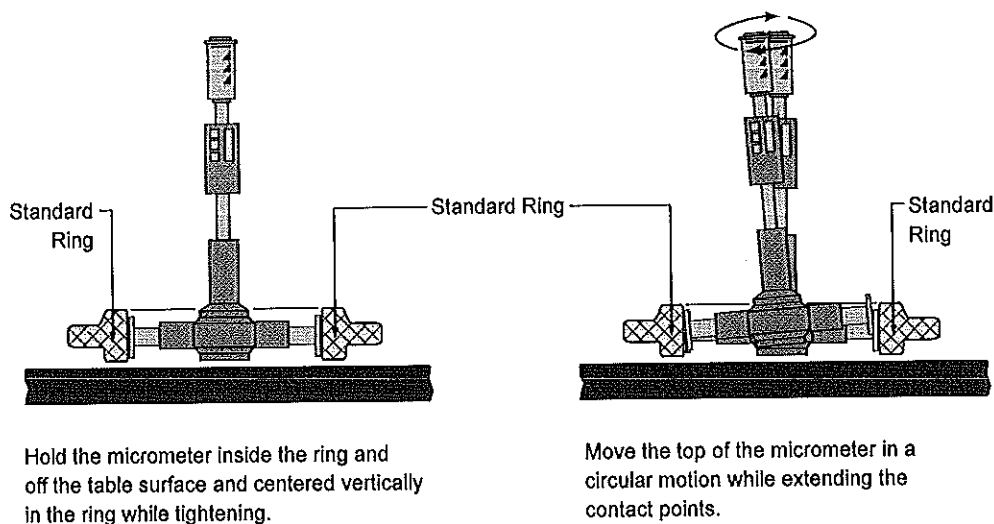
**A3. PROCEDURE FOR VISUALLY INSPECTING THE CONDITION OF THE  
MOLD**

- A3.1. *Perform a visual inspection of the mold:*
- A3.1.1. Confirm that the molds are thoroughly cleaned and identified with a unique serial number or other unique identifier. Allow the molds to achieve a temperature of 18 to 28°C (64 to 82°F).
- Note A2**—This temperature range can be confirmed with an infrared thermometer.
- A3.1.2. The mold bore shall be free of residue and deep gouges. Mold bores without gouges typically have an acceptable surface finish. Identify any wear area that may be visible in the mold.

**Note A3**—Do not attempt to clean an SGC mold in an ignition oven. Extreme heat may cause the mold to soften or become “out of round” and unrepairable.

#### A4. PROCEDURE FOR MEASURING THE INSIDE DIAMETER OF SUPERPAVE GYRATORY MOLDS WITH A THREE-POINT BORE GAUGE

- A4.1. *Standardize the bore gauge*—The three-point bore gauge shall be standardized with the master ring prior to each use.
- A4.1.1. Allow the gauge and calibrated master ring to achieve a temperature of 18 to 28°C (64 to 82°F) (Note A2).
- A4.1.2. Place the master ring on a flat surface. Position the gauge inside the ring without contacting the surface. Engage the contact points with the ring internal diameter. On some gauges, this operation requires turning an adjuster knob to extend the contact points; other gauge types may have alternate engagement operation. (See Figure A4.1.) While extending the gauge contacts, use a small circular motion at the top of the gauge to align the contact tips with the master ring bore. As the bore gauge contacts engage the master ring, the circular movement will reduce until the contacts seat against the ring bore. This engagement should be firm but not overly tight.



**Figure A4.1**—Techniques for Using the Three-Point Bore Gauge with the Calibrated Master Ring

**Note A4**—The circular motion depicted in Figure A4.1, applied to the top of the gauge while tightening the contact tips against the bore surface, is necessary to eliminate errors from misalignment.

- A4.1.3. Reset (zero) the bore gauge. On mechanical gauges without an electronic reset, confirm the gauge reads within 0.0025 mm (0.0001 in.) of the master ring. Release the gauge from the ring by retracting the contact points.
- If the mechanical bore gauge does not read correctly, measurements taken with the gauge require the addition of an offset to compensate for the bias (amount of error from the standard), or the gauge can be recalibrated.



- A4.2. Identify the rotational orientation of the measurements. Position the mold on a flat surface with the bore vertical. Place a mark on the top of the mold to identify the rotational orientation of the measurements to be taken.
- A4.3. *Measurements*—The inside diameter of the mold shall be measured at three locations (elevations) along its axis. Designate these elevations as 1, 2, and 3. The first measurement location (elevation) shall be approximately 50 mm from the top of the mold. The second measurement shall be in the visible wear area approximately 100 mm from an end of the mold (top or bottom) as determined by the wear area. The third elevation shall be approximately 50 mm from the end opposite the first measurement.
- The diameter shall be measured three times at each elevation, resulting in a total of nine individual diameter measurements. Each measurement is identified by a number (1, 2, or 3) corresponding to the elevation and a letter (A, B, or C) corresponding to the angular orientation of the gauge. At each elevation, measurements designated as “A” shall have one of the three contacts aligned with the mark made in Section A4.2, measurements designated as “B” shall have the contact rotated 90 degrees from the mark, and measurements designated as “C” shall have the contact oriented 180 degrees from the mark.
- For best accuracy and consistency, each bore measurement should use the same firmness and technique applied in Section A4.1.2 for gauge standardization.
- Record each measurement to at least the nearest 0.0025 mm (0.0001 in.). Record the value to the nearest 0.001 mm (0.00004 in.) if the gauge resolution permits.
- A4.3.1. Position the bore gauge at the first measurement elevation with one of the contact points aligned with the mark made in Section A4.2. Obtain the measurement, and record this reading as “1A.”
- A4.3.2. Release the gauge; rotate it 90 degrees and obtain the measurement in this orientation. Record this measurement as “1B.”
- A4.3.3. Rotate the bore gauge an additional 90 degrees (180 degrees from “1A”) to obtain a third reading at the same elevation. Record this reading as “1C.”
- Note A5**—Figure A4.2 shows the gauge in the mold positioned for each measurement. The wear zone is represented in this figure at the top of the mold. Take care not to position the bore gauge probe at the sloped edge of the wear zone.

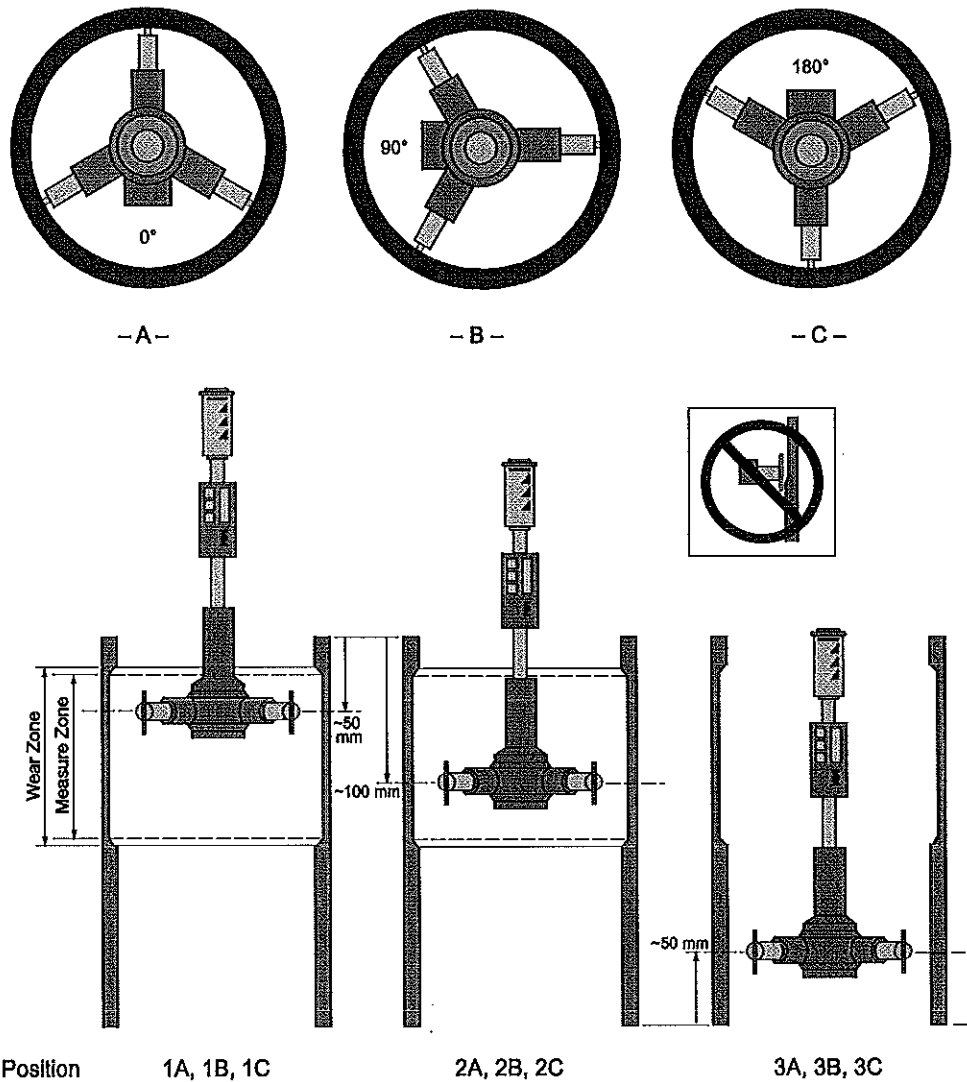


Figure A4.2—Bore Gauge Measurement Positions within the Mold Bore

A4.3.4. Release the bore gauge, and position it for the measurements at the second elevation. Repeat Sections A4.3 through A4.3.3 for elevations 2 and 3. Record the readings, and designate them as “2A,” “2B,” and “2C” and “3A,” “3B,” and “3C,” respectively.

A4.3.5. Each individual bore measurement shall be compared to the specified range and given a pass/fail rating. If any of the individual bore measurements are assigned a “fail” rating, the mold is considered to be out of conformance and shall not be used.

A4.4. *Calculations:*

A4.4.1. For instruments that indicate the measured value directly, no calculation is required.

A4.4.2. For instruments for which the diameter measurement is an increment from the master ring size, calculate the mold diameter for each measurement by the following equation:





$$\text{measurement} = M + D \quad (A1.1)$$

where:

$M$  = master ring diameter, mm; and

$D$  = instrument reading, mm (retain the positive or negative sign).

**Note A6**—A negative reading for “D” indicates that the mold diameter is smaller than the master ring, and a positive reading indicates that the mold diameter is larger than the master ring.

A4.4.3. Measurements taken with instruments measuring in inches shall be converted and reported as millimeters (mm) using the following equation:

$$\text{mm} = \text{in.} \times 25.40 \quad (A1.2)$$

---

## A5. PROCEDURE FOR MEASURING THE INSIDE DIAMETER OF SUPERPAVE GYRATORY MOLDS WITH A COORDINATE MEASUREMENT MACHINE (CMM)

A5.1. Take measurements in accordance with the operating instructions provided by the equipment manufacturer. Measurements shall be obtained at the vertical locations specified in Figure A4.2.

A5.1.1. Report information in accordance with the requirements in Section A7 of this Annex.

---

## A6. PROCEDURE FOR MEASURING THE OUTSIDE DIAMETER OF SUPERPAVE GYRATORY COMPACTOR MOLD END PLATES

A6.1. *Perform a visual inspection of the mold end plates:*

A6.1.1. Confirm that the end plates are thoroughly cleaned and properly identified. Allow the end plates and outside measuring instrument (caliper, micrometer, or CMM) to achieve a temperature of 18 to 28°C (64 to 82°F) (Note A2).

A6.1.2. The plates shall be free of residue and deep gouges. Surfaces in contact with the asphalt mixture shall be flat. Minor abrasion marks from aggregates are acceptable. Surfaces in contact with the SGC frame or compaction ram shall be free of raised burrs that may cause the plate to wobble during gyration. Small recesses on the side of the plate interfacing the SGC (opposite the asphalt mixture) can reduce rocking and are acceptable.

A6.2. Determine the maximum diameter of the end plate by measuring it at several locations. Place a removable mark at this position. Record the maximum plate diameter to the nearest 0.025 mm (0.001 in.). Designate this measurement as “A.”

A6.2.1. Measure the diameter at a 90-degree orientation to the maximum diameter. Record this diameter as “B.”

A6.2.2. Each individual diameter measurement shall be compared to the specified range and given a pass/fail rating. If any of the individual bore measurements are assigned a “fail” rating, the mold is considered to be out of conformance and shall not be used.

---

## A7. INSPECTION REPORT

A7.1. *Record and report the following information:*

A7.1.1. Name of evaluator;

A7.1.2. Date;





- A7.1.3. Mold owner;
- A7.1.4. Location of evaluation;
- A7.1.5. Superpave gyratory compactor model;
- A7.1.6. Measurement system for the inside diameter measurements;
  - A7.1.6.1. Bore gauge information, if used (manufacturer and model);
  - A7.1.6.2. Master ring information, if using three-point bore gauge (diameter to the nearest 0.001 mm (0.00004 in.), calibration certificate number, and calibration date);
  - A7.1.6.3. CMM information, if used (manufacturer, model, last calibration date);
- A7.1.7. Length-measuring instrument information (model, serial number, range, and calibration date);
- A7.1.8. *Mold and End Plate Identification*—Mold identification (serial number or other identifying mark) and end plate identification(s) (serial number or other identifying mark);
- A7.1.9. Individual inside diameter measurements of the mold to the nearest 0.0025 mm (0.0001 in.) and the corresponding pass/fail rating;
- A7.1.10. Individual outside diameter measurements of the end plate to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) and the corresponding pass/fail rating; and
- A7.1.11. Length measurement of the mold to the nearest 0.1 mm (0.004 in.).



---

**Standard Method of Test for**

**Determining the Fatigue Life  
of Compacted Asphalt Mixtures  
Subjected to Repeated  
Flexural Bending**

---

**AASHTO Designation: T 321-14**



**American Association of State Highway and Transportation Officials  
444 North Capitol Street N.W., Suite 249  
Washington, D.C. 20001**



---

**Standard Method of Test for****Determining the Fatigue Life of Compacted Asphalt Mixtures Subjected to Repeated Flexural Bending**

AASHTO Designation: T 321-14



---

**1. SCOPE**

- 1.1. This standard provides procedures for determining the fatigue life and fatigue energy of 380 mm long by 50 mm thick by 63 mm wide asphalt mixture beam specimens sawed from laboratory- or field-compacted asphalt mixtures and subjected to repeated flexural bending until failure.
- 1.2. *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety concerns associated with its use. It is the responsibility of the user of this procedure to establish appropriate safety and health practices and to determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

---

**2. REFERENCED DOCUMENTS**

- 2.1. *AASHTO Standards:*
- PP 3, Preparing Hot Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the Rolling Wheel Compactor<sup>1</sup>
  - T 2, Sampling of Aggregates
  - T 40, Sampling Bituminous Materials
  - T 168, Sampling Bituminous Paving Mixtures
  - T 247, Preparation of Test Specimens of Hot Mix Asphalt (HMA) by Means of California Kneading Compactor
  - T 269, Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Asphalt Mixtures
- 2.2. *ASTM Standards:*
- D 3549/D 3549M, Standard Test Method for Thickness or Height of Compacted Bituminous Paving Mixture Specimens
  - D 5361/D 5361M, Standard Practice for Sampling Compacted Bituminous Mixtures for Laboratory Testing
  - E 29, Standard Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications

---

**3. TERMINOLOGY**

- 3.1. *Definition:*
- 3.1.1. *failure point*—the load cycle at which the specimen exhibits a 50 percent reduction in stiffness relative to the initial stiffness.

TS-2d

T 321-1

AASHTO

© 2014 by the American Association of State Highway and Transportation Officials.  
All rights reserved. Duplication is a violation of applicable law.



---

#### 4. SIGNIFICANCE AND USE

- 4.1. The fatigue life and failure energy determined by this standard can be used to estimate the fatigue life of asphalt mixture pavement layers under repeated traffic loading. The performance of asphalt mixtures can be more accurately predicted when these properties are known.

---

#### 5. APPARATUS

- 5.1. *Test System*—The test system shall consist of a loading device, an environmental chamber (optional), and a control and data acquisition system. The test system shall meet the minimum requirements specified in Table 1.

**Table 1—Test System Minimum Requirements**

Load measurement and control	Range:	0 to 5 kN
	Resolution:	2 N
	Accuracy:	5 N
Displacement measurement and control	Range:	0 to 5 mm
	Resolution:	2 $\mu$ m
	Accuracy:	5 $\mu$ m
Frequency measurement and control	Range:	5 to 10 Hz
	Resolution:	0.005 Hz
	Accuracy:	0.01 Hz
Temperature measurement and control	Range:	-10 to 25°C
	Resolution:	0.25°C
	Accuracy:	$\pm 0.5^\circ\text{C}$

- 5.1.1. *Loading Device*—The test system shall include a closed-loop, computer-controlled loading component that, during each load cycle in response to commands from the data processing and control component, adjusts and applies a load such that the specimen experiences a constant level of strain during each load cycle. The loading device shall be capable of (1) providing repeated sinusoidal loading at a frequency range of 5 to 10 Hz; (2) subjecting specimens to four-point bending with free rotation and horizontal translation at all load and reaction points; and (3) forcing the specimen back to its original position (i.e., zero deflection) at the end of each load pulse. (Figure 1 illustrates the loading conditions.)
- 5.1.2. *Environmental Chamber (Optional)*—The environmental chamber shall enclose the entire specimen and maintain the specimen at  $20.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$  during testing. An environmental chamber is not required if the temperature of the surrounding environment can be maintained within the specified limits.
- 5.1.3. *Control and Data Acquisition System*—During each load cycle, the control and data acquisition system shall be capable of measuring the deflection of the beam specimen, computing the strain in the specimen, and adjusting the load applied by the loading device such that the specimen experiences a constant level of strain on each load cycle. In addition, it shall be capable of recording load cycles, applied loads, and beam deflections and computing and recording the maximum tensile stress, maximum tensile strain, phase angle, stiffness, dissipated energy, and cumulative dissipated energy at load cycle intervals specified by the user.
- 5.2. *Miscellaneous Apparatus and Materials*—A suitable saw for cutting the beams and a mechanism for setting proper clamp spacing. For loading devices that require a glued nut for deformation measurement, a screw, nut (suggested size M 8 by 1) and block assembly for referencing the linear variable differential transducer (LVDT) to the neutral axis of the specimen, and epoxy for attaching the nut to the specimen are also needed.

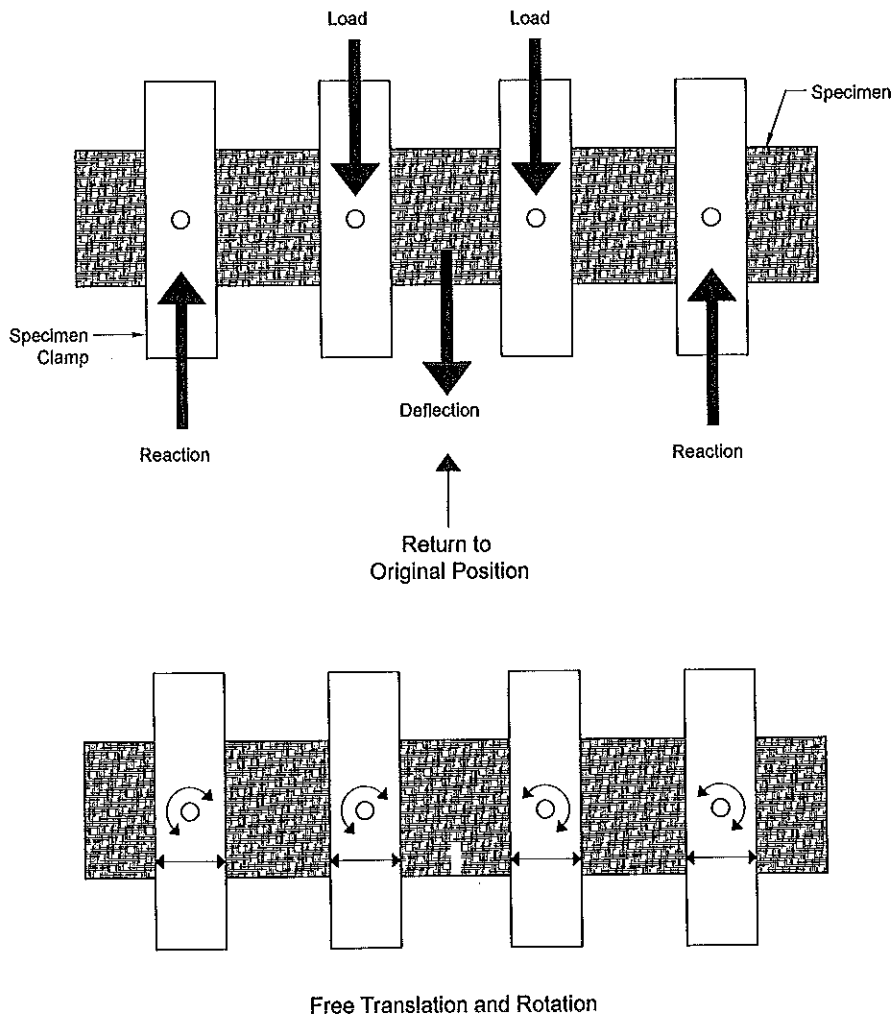


Figure 1—Load and Freedom Characteristics of Fatigue Test Apparatus

## 6. HAZARDS

- 6.1. Observe standard laboratory safety precautions when preparing and testing HMA specimens.

## 7. SAMPLING AND SPECIMEN PREPARATION

- 7.1. *Laboratory-Mixed and Compacted Specimens*—Sample asphalt binder in accordance with T 40 and sample aggregate in accordance with T 2. Prepare three replicate asphalt mixture beam specimens, from slab(s) or beam(s) compacted in accordance with PP 3 or T 247.

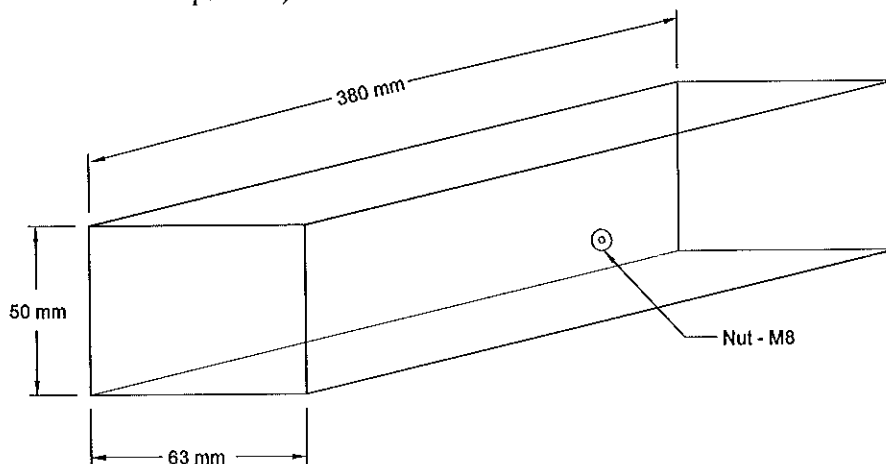
**Note 1**—The type of compaction device may influence the test results. It is recommended to cut beams from a large slab compacted by a vibratory roller.

**Note 2**—Normally, test specimens are compacted using a standard compactive effort. However, the standard compactive effort may not reproduce the air voids of roadway specimens measured according to T 269. If specimens are to be compacted to a target air void content, the compactive effort to be used should be determined experimentally.

- 7.2. *Plant-Mixed, Laboratory-Compacted Specimens*—Obtain asphalt mixture samples in accordance with T 168. Prepare three replicate asphalt mixture beam specimens, from slab(s) or beam(s) compacted in accordance with PP 3 or T 247. (See Notes 1 and 2.)
- 7.3. *Roadway Specimens*—Obtain compacted asphalt mixture samples from the roadway in accordance with ASTM D 5361/D 5361M.
- 7.4. Saw at least 6 mm from both sides of each test specimen to provide parallel (saw-cut) surfaces to eliminate high air void sections on the specimen surface. For loading devices that require gluing a nut for deformation measurement, these cut surfaces provide smooth surfaces for mounting the measurement gauges. The final required dimensions, after sawing, of the specimens are  $380 \pm 6$  mm in length,  $50 \pm 6$  mm in height, and  $63 \pm 6$  mm in width.

## 8. PROCEDURE

- 8.1. *Specimen Measurement*—Measure the height and width of the specimen to the nearest 0.01 mm at three different points along the middle 100 mm of the specimen length in accordance with applicable sections of ASTM D 3549/D 3549M. Determine the average of the three measurements for each dimension and record the averages to the nearest 0.1 mm.
- 8.2. *Epoxying Nut to Neutral Axis of Specimen*—Locate the center of a specimen side. Apply epoxy in a circle around this center point and place the nut on the epoxy such that the center of the nut is over the center point. Avoid applying epoxy such that it fills the center of the nut. Allow the epoxy to cure before moving the specimen. (Figure 2 illustrates a nut epoxied to the neutral axis of the specimen.)



Note: Not to scale

Figure 2—Nut Epoxied to the Neutral Axis

- 8.3. Place the specimen in an environment that is at  $20.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$  for 2 h to ensure the specimen is at the test temperature prior to beginning the test.
- 8.4. Open the clamps and slide the specimen into position (Figures 3, 4, and 5). Use the jig to ensure proper horizontal spacing of the clamps, 119 mm center-to-center. When the specimen and clamps are in the proper positions, close the outside clamps by applying sufficient pressure to hold the specimen in place. Next, close the inside clamps by applying sufficient pressure to hold the specimen in place.

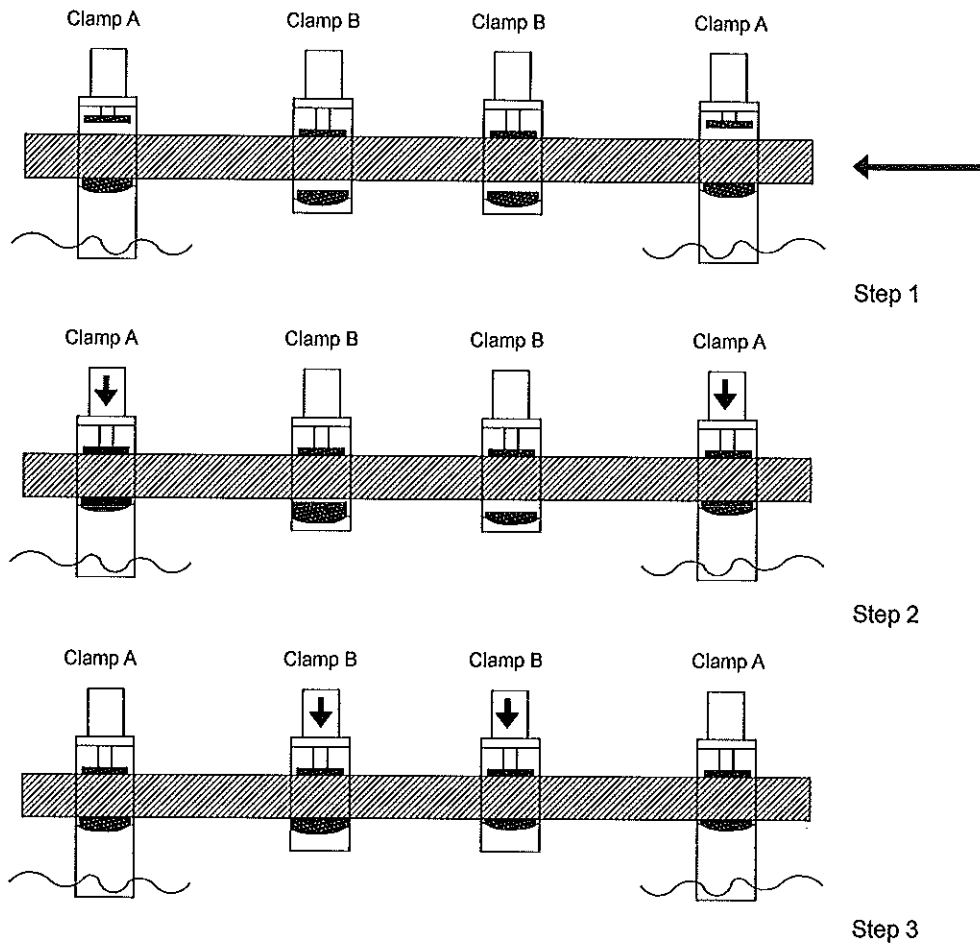
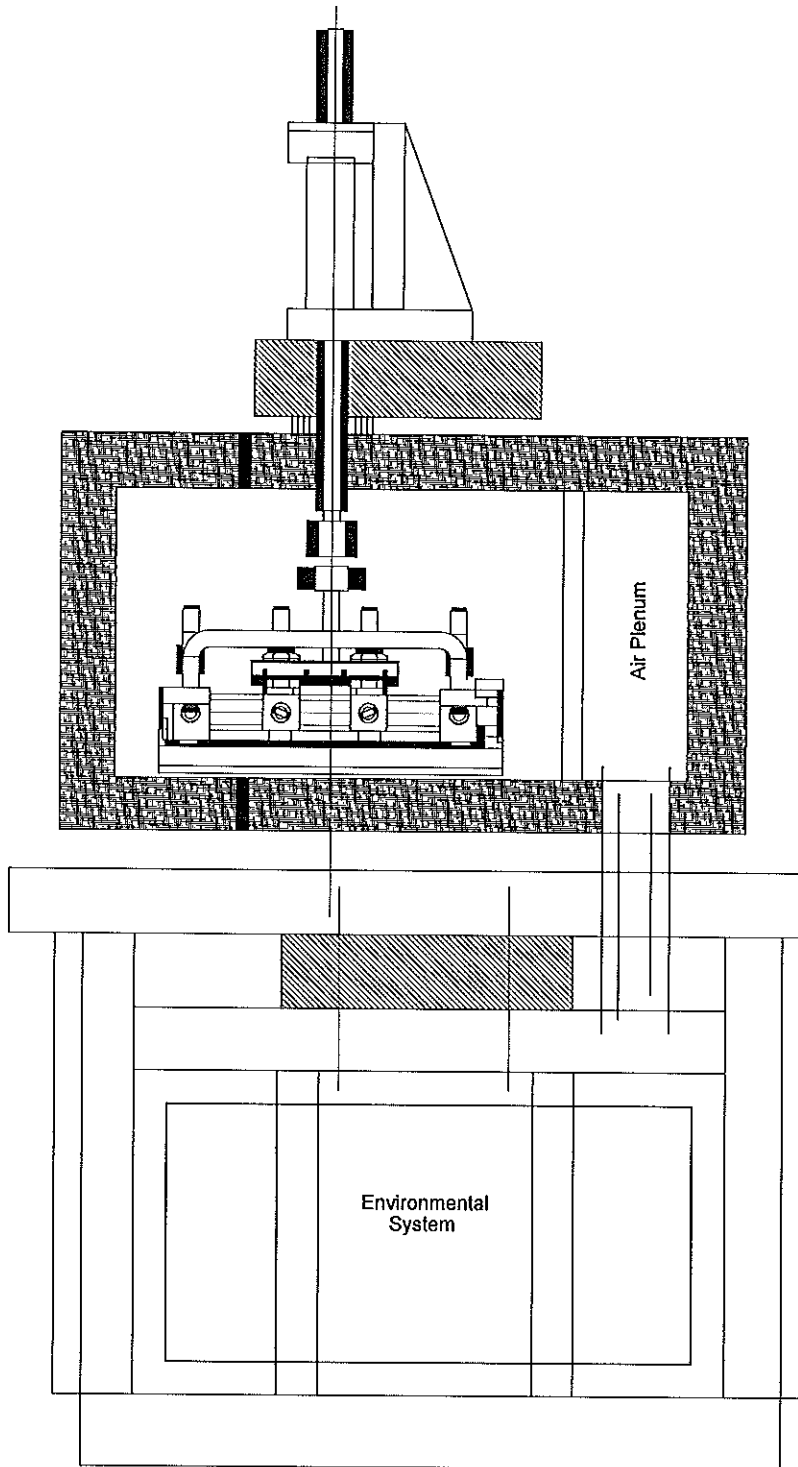


Figure 3—Specimen Clamping Procedure





**Figure 4**—Schematic of Flexural Beam Fatigue Test Apparatus, Side View

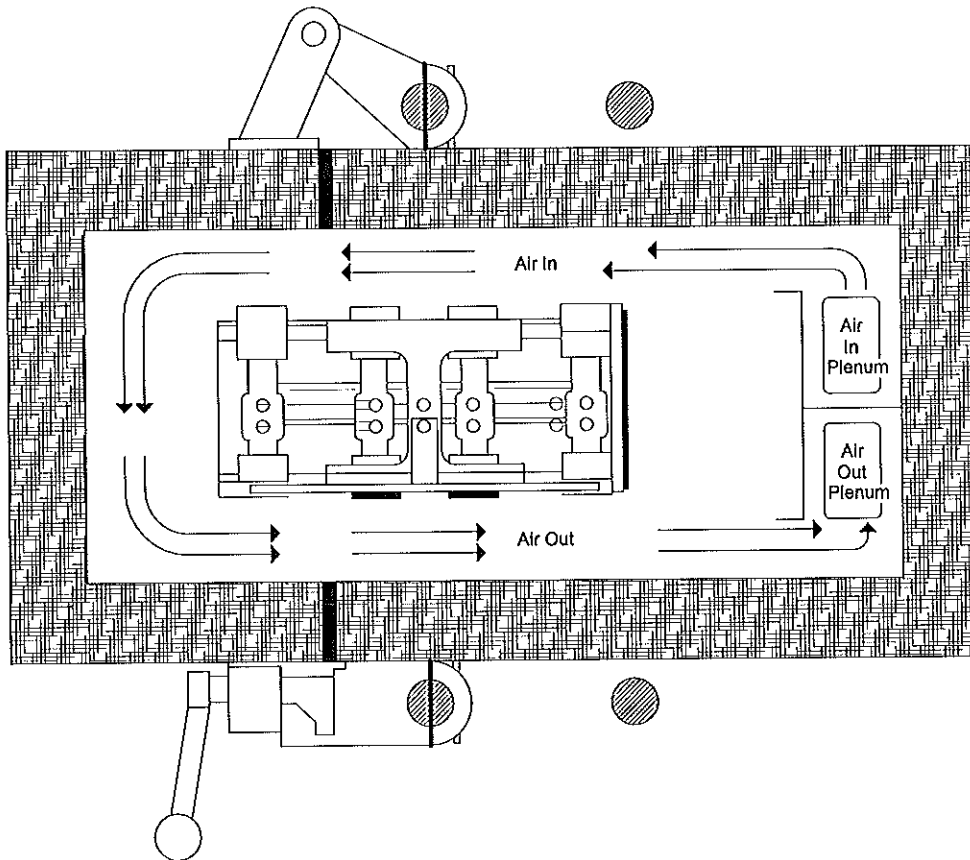


Figure 5—Schematic of Flexural Beam Fatigue Test Apparatus, Top View

- 8.5. Attach the LVDT block to the specimen by screwing the screw into the nut epoxied on the specimen (see Figure 4). Clamp the LVDT into position such that the LVDT probe rests on top of the block and the LVDT is reading close to zero.
- 8.6. Select the desired initial peak-to-peak strain (generally in the 250 to 750 microstrain for conventional asphalt mixtures) and loading frequency, and the load cycle intervals at which test results are recorded and computed, and enter them into the recording and control component's test program. In some instances, with highly modified materials for specialized applications, testing has been conducted with initial peak-to-peak strains as high as 2000 microstrain. Set the loading frequency within a range of 5 to 10 Hz.
- Note 3**—The data collection sequence should ensure that at least 200 data points are captured within each log decade of loading and that these should enable a smooth curve of flexural stiffness versus load cycles to be obtained. The collection sequence shall include data capture at cycle 50.
- 8.7. Select a deflection level (peak-to-peak strain level) such that the specimen will undergo a minimum of 10,000 load cycles before its stiffness is reduced to a condition that represents specimen failure. A minimum of 10,000 load cycles ensures that the specimen does not decrease in stiffness too rapidly.
- Note 4**—A test of 10,000 load cycles at 10 Hz will take 17 min to conduct once the test is started. A practical upper limit on the test time would correspond to around 1 day, during which approximately 1 million load applications can be achieved (around 28 h). Data in this range can be used to produce a relationship between strain and life to failure. Some trial and error may be



required to estimate the strain levels to achieve these testing times. If an estimation of endurance limit is required, then additional testing beyond 1 million cycles is needed. Some methods suggest that tests as long as 10 million cycles may be required.

8.8. After selecting the appropriate test parameters, begin the test. Activate the recording and control components so that the test results at the selected load cycle intervals are monitored and recorded, ensuring that the test system is operating properly.

8.9. Determine at all load cycles the flexural stiffness and phase lag at each load cycle throughout the test while the test is being performed as follows:

8.9.1. *Maximum Peak-to-Peak Stress (Pa):*

$$\sigma_t = (0.357P) / (bh^2) \quad (1)$$

where:

$P$  = peak-to-peak load applied by actuator, N;

$b$  = average specimen width, m; and

$h$  = average specimen height, m.

8.9.2. *Maximum Peak-to-Peak Strain (m/m):*

$$\epsilon_t = (12\delta h) / (3L^2 - 4a^2) \quad (2)$$

where:

$\delta$  = maximum peak-to-peak deflection at center of beam, m;

$a$  = space between inside clamps, 0.357/3 m, (0.119 m); and

$L$  = length of beam between outside clamps, 0.357 m.

8.9.3. *Flexural Stiffness (Pa):*

$$S = \sigma_t / \epsilon_t \quad (3)$$

8.9.4. *Phase Angle (deg):*

$$\phi = 360 fs \quad (4)$$

where:

$f$  = load frequency, Hz; and

$s$  = time lag between  $P_{\max}$  and  $\delta_{\max}$ , s.

**Note 5**—When automated testing software is used in the recording and control component of the test system,  $\phi$  is approximated by an algorithm contained in the automated testing software.

8.10. For each load cycle at which data are collected, compute the product of the flexural stiffness and load cycles ( $S \times n$ ).

8.11. Terminate the data collection and stop the test after a point where the computed  $S \times n$  has reduced from a peak value by 15 percent

## 9. CALCULATIONS

9.1. *Cycles to Failure*—Failure is defined as the point at which the product of the specimen stiffness and loading cycles is a maximum.



**Note 6**—The use of appropriate data smoothing methods, such as fitting six-order polynomials and cubic splines to the  $S \times n$  curve, have been used to smooth out any irregularities in the data collection.

**10. REPORT**

- 10.1. *Asphalt Mixture Description*—Report the binder type, binder content, aggregate gradation, and air void percentage.
- 10.2. *Specimen Dimensions*—Report the specimen length, average specimen height, and average specimen width in meters to four significant figures.  
**Note 7**—See ASTM E 29 for information on determination of significant figures in calculations.
- 10.3. Report the average test temperature to the nearest 0.2°C.
- 10.4. Report the test results listed in Table 2 for each load cycle interval selected by the operator to three significant figures.

**Table 2**—Test Results

Load Cycle	Applied Load	Beam Deflection	Peak-to-Peak Stress	Peak-to-Peak Strain	Flexural Stiffness	Phase Angle	$S \times n$
	N	m	Pa	m/m	MPa	degree	

- 10.5. Report the flexural stiffness at cycle 50 in MPa.
- 10.6. Report the cycles to failure.
- 10.7. Report the flexural stiffness at the failure cycle.
- 10.8. Prepare a plot of stiffness versus load cycles as shown in Figure 6 and the  $S \times n$  versus load cycles as shown in Figure 7.
- 10.9. When multiple test results are conducted at a single strain level, the average of the results shall be calculated by averaging the logarithm (base 10) of the numbers.

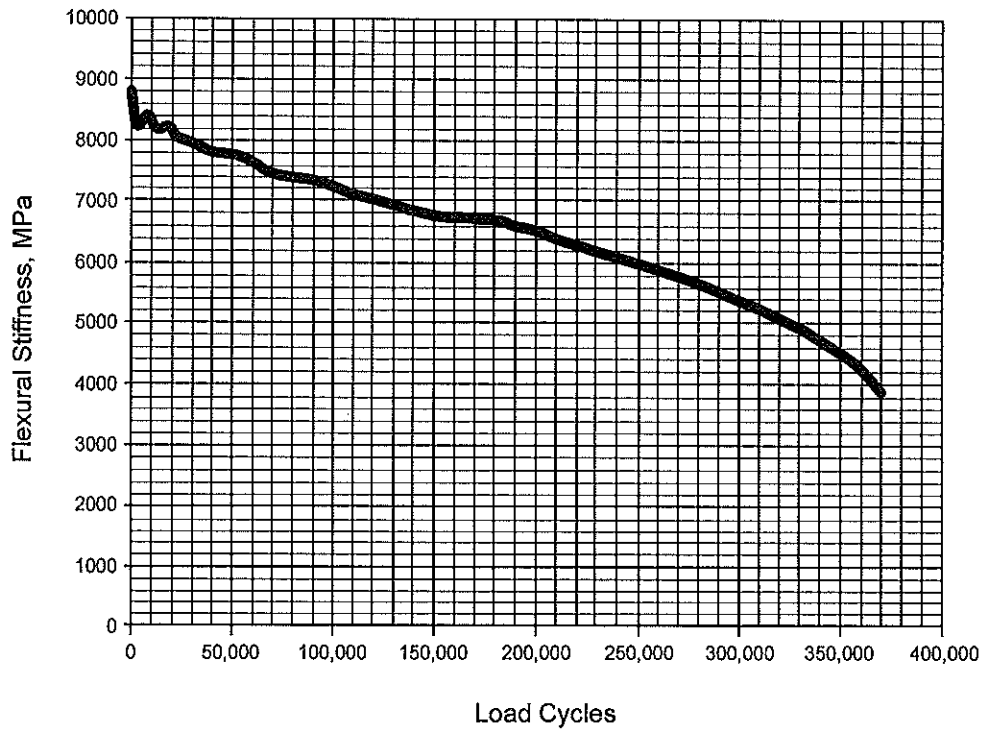


Figure 6—Stiffness versus Load Cycles

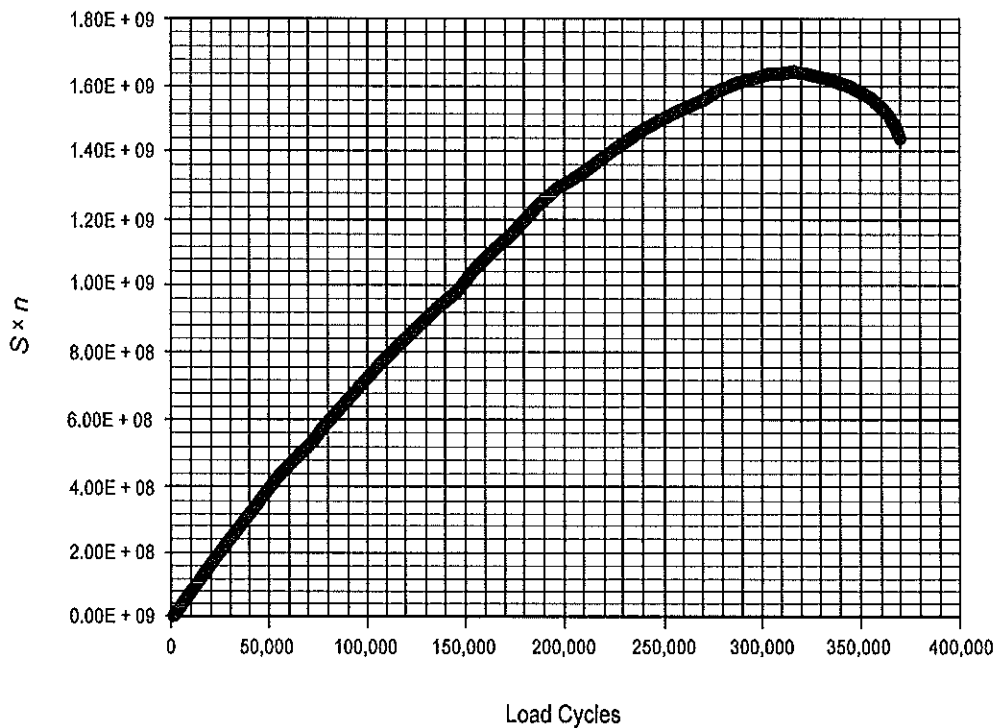


Figure 7— $S \times n$  versus Load Cycles



---

**11. PRECISION AND BIAS**

- 11.1. *Precision*—The research required to develop precision values has not been conducted.
- 11.2. *Bias*—The research required to establish the bias of this method has not been conducted.

---

**12. KEYWORDS**

- 12.1. Asphalt mixtures energy dissipation; asphalt mixtures fatigue; asphalt mixtures flexural testing; asphalt mixtures stiffness; asphalt mixtures tensile testing; fatigue life; flexural bending.

---

<sup>1</sup> PP 3-94 (1996) was last printed in the May 2002 edition of the *AASHTO Provisional Standards*.