

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL



Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS  
CARPETAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO TRATAMIENTO  
REJUVENECEDOR, APLICADO PARA LA VÍA PRINCESA TOA-  
CONOCOTO EN LA CIUDAD DE QUITO”

AUTORES:

EDDY MAURICIO JURADO RIVERA

JEANPIERRE ALEXANDER PALACIOS LEDESMA

DIRECTOR:

ING GUSTAVO YÁNEZ

QUITO, 2018

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mis padres, Eddy y Sary, por su apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida, por ser las personas en las cuales me inspiro cada día para seguir adelante y ser una mejor persona y un mejor profesional.

¡A Dios, por permitirme el reto y acompañarme en el camino!

*Eddy Mauricio Jurado Rivera*

Este importante trabajo quiero dedicárselo primero a Dios y a la Madre Dolorosa, quienes con su bendición diaria siempre me han brindado la oportunidad de seguir adelante y alcanzar cada una de mis metas, a toda mi familia que siempre ha sido un pilar fundamental en mi vida personal y académica, apoyándome incondicionalmente en todo sentido y guiándome para poder ser siempre una persona de bien y a mi novia quien me ha acompañado en estos últimos años de vida universitaria apoyándome y ayudándome en muchas ocasiones para continuar adelante y llegar a cumplir el sueño de ser ingeniero.

*Jeanpierre Alexander Palacios Ledesma*

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, por acompañarme y cuidarme siempre en cada día de mi vida.

A mis padres, Eddy y Sary, por todo el amor, el apoyo incondicional, por las enseñanzas, por los consejos y las palabras de aliento para seguir adelante y alcanzar todas mis metas y a mis hermanos, Miguel y Melissa, por todo su apoyo y su compañía en esta etapa de mi vida.

A mi amada novia, Erika, por alentarme día a día, por brindarme su amor, y ser la base de mi inspiración.

A toda mi familia por todo el cariño que me han sabido brindar.

A mis amigos y compañeros con quienes hemos compartido inolvidables momentos en el camino por alcanzar el anhelado título profesional.

A mis profesores, por todos los conocimientos impartidos, por la confianza y por ser la guía fundamental en mi aprendizaje.

Finalmente, gracias a mi querida PUCE, mi Alma Mater, lugar en el que tuve la oportunidad de formarme y prepararme para la vida profesional, lugar en el que conocí a gente maravillosa con principios y valores; y que ahora forman parte de mi vida.

*Eddy Mauricio Jurado Rivera*

A Dios y a la madre Dolorosa por darme la sabiduría, el conocimiento y el entendimiento a lo largo de mi vida académica permitiéndome continuar este camino duro y al mismo tiempo bonito que tuve que seguir para que en algún momento pueda redactar estas palabras de agradecimiento a punto de llegar a ser profesional.

A toda mi familia, ya que cada uno de ellos en algún momento me apoyaron y guiaron para continuar con mis estudios hasta poder alcanzar este gran logro en mi vida que es el graduarme de ingeniero civil.

A mis compañeros y amigos quienes formaron parte de toda esta linda etapa estudiantil y con quienes pude compartir grandiosos momentos no solo académicos sino también sociales.

Por supuesto, a las personas que sin ellos nadie podría educarse, mis maestros quienes supieron impartir sus conocimientos en mí y a su vez exigirme cada día para ser un excelente estudiante y ahora un excelente profesional.

*Jeanpierre Alexander Palacios Ledesma*

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
TABLA DE CONTENIDOS.....	III
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XI
ÍNDICE DE IMÁGENES .....	XII
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
RESUMEN .....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
OBJETIVOS .....	4
GENERAL.....	4
ESPECÍFICOS .....	4
METODOLOGÍA .....	4
MUESTREO .....	4
CAPÍTULO I .....	6
1. GENERALIDADES.....	6
1.1. ANTECEDENTES.....	6
1.2. CARACTERÍSTICAS Y UBICACIÓN DE LA VÍA.....	6
1.3. ASFALTOS Y PRODUCTOS DERIVADOS .....	7
1.3.1. ASFALTOS.....	7
1.3.1.1. Propiedades y características .....	7
1.3.1.2. Composición.....	8
1.3.1.3. Producción.....	8
1.4. MANTENIMIENTO VIAL.....	9
1.4.1. GENERALIDADES SOBRE EL MANTENIMIENTO VIAL.....	9

1.4.2.	TIPOS DE MANTENIMIENTO VIAL .....	12
1.4.2.1.	Mantenimiento rutinario .....	12
1.4.2.2.	Mantenimiento preventivo .....	13
1.4.2.3.	Mantenimiento periódico .....	13
1.4.2.4.	Mantenimiento de emergencia .....	13
1.5.	REJUVENECEDORES DE ASFALTO .....	14
1.5.1.	TIPOS DE REJUVENECEDOR DE ASFALTO.....	14
CAPÍTULO II .....		15
2.	MARCO TEÓRICO .....	15
2.1.	PAVIMENTOS .....	15
2.1.1.	DEFINICIÓN .....	15
2.1.2.	CARACTERÍSTICAS QUE DEBE CUMPLIR UN PAVIMENTO .....	15
2.1.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS .....	16
2.1.3.1.	Pavimentos Flexibles .....	16
2.1.3.2.	Pavimentos Semi-rígidos .....	16
2.1.3.3.	Pavimentos Rígidos .....	17
2.1.3.4.	Pavimentos Articulado.....	18
2.1.4.	FALLAS MÁS COMUNES EN LOS PAVIMENTOS .....	18
2.2.	REJUVENECEDOR WD2000 .....	19
2.2.1.	COMPOSICIÓN.....	20
2.2.2.	LUGARES DE APLICACIÓN.....	20
2.2.2.1.	Vías y Estacionamientos .....	20
2.2.2.2.	Aeropuertos .....	21
2.2.3.	SUGERENCIAS DE APLICACIÓN.....	21
2.2.4.	PRUEBAS RECIENTES.....	22
2.3.	PUNTOS CONSIDERADOS EN LA INVESTIGACIÓN .....	23
2.3.1.	CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	24
2.3.2.	ABSCISA DE PUNTOS EN CONSIDERACIÓN .....	24
CAPÍTULO III.....		25

3.	ENSAYOS DE LABORATORIO .....	25
3.1.	PENDULO DE FRICCION.....	25
3.1.1.	IMPORTANCIA .....	25
3.1.2.	SÍNTESIS .....	25
3.1.3.	EQUIPO Y ACCESORIOS .....	26
3.1.4.	MODELO DE PRUEBA .....	26
3.1.5.	ACONDICIONAMIENTO DEL EQUIPO.....	26
3.1.6.	PROCEDIMIENTO.....	27
3.2.	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK.....	27
3.2.1.	IMPORTANCIA .....	27
3.2.2.	DEFINICIONES.....	27
3.2.3.	SÍNTESIS .....	28
3.2.4.	CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA.....	28
3.2.5.	PROCEDIMIENTO.....	28
3.2.6.	CÁLCULO .....	29
3.3.	ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL .....	29
3.3.1.	IMPORTANCIA .....	29
3.3.2.	RECOMENDACIONES.....	30
3.3.3.	SÍNTESIS .....	30
3.3.4.	APARATO .....	32
3.3.5.	PROCEDIMIENTO.....	34
3.3.6.	CÁLCULO .....	36
3.4.	RICE.....	38
3.4.1.	IMPORTANCIA .....	38
3.4.2.	DEFINICIONES.....	38
3.4.3.	SÍNTESIS .....	38
3.4.4.	CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA.....	39
3.4.5.	PROCEDIMIENTO.....	39
3.4.6.	CÁLCULO .....	40

3.5.	PORCENTAJE DE ASFALTO .....	41
3.5.1.	IMPORTANCIA .....	41
3.5.2.	RESUMEN DEL METODO DE PRUEBA.....	41
3.5.3.	RECOMENDACIONES.....	41
3.5.4.	EQUIPO .....	41
3.5.5.	RIESGOS .....	42
3.5.6.	CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA.....	42
3.5.7.	EQUIPOS Y ACCESORIOS.....	42
3.5.8.	PROCEDIMIENTO.....	43
3.5.9.	CÁLCULOS .....	43
3.6.	PORCENTAJE DE VACIOS .....	44
3.6.1.	IMPORTANCIA .....	44
3.6.2.	DEFINICIONES.....	44
3.6.3.	CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA.....	44
3.6.4.	PROCEDIMIENTO.....	44
3.6.5.	CÁLCULOS .....	45
CAPÍTULO IV.....		46
4.	CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	46
4.1.	CÁLCULOS.....	46
4.1.1.	PÉNDULO DE FRICCIÓN.....	46
4.1.1.1.	Punto 1.....	46
4.1.1.2.	Punto 2.....	47
4.1.1.3.	Punto 3.....	48
4.1.2.	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK.....	49
4.1.2.1.	Punto 1.....	49
4.1.2.2.	Punto 2.....	53
4.1.2.3.	Punto 3.....	56
4.1.3.	ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL.....	59
4.1.3.1.	Punto 1.....	59

4.1.3.2.	Punto 2.....	61
4.1.3.3.	Punto 3.....	63
4.1.4.	RICE.....	65
4.1.4.1.	Punto 1.....	65
4.1.4.2.	Punto 2.....	68
4.1.4.3.	Punto 3.....	71
4.1.5.	PORCENTAJE DE ASFALTO .....	74
4.1.5.1.	Punto 1.....	74
4.1.5.2.	Punto 2.....	75
4.1.5.3.	Punto 3.....	77
4.1.6.	PORCENTAJE DE VACÍOS .....	78
4.1.6.1.	Punto 1.....	78
4.1.6.2.	Punto 2.....	79
4.1.6.3.	Punto 3.....	80
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	81
4.2.1.	PÉNDULO DE FRICCIÓN.....	81
4.2.1.1.	Punto 1.....	81
4.2.1.2.	Punto 2.....	83
4.2.1.3.	Punto 3.....	84
4.2.2.	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK.....	85
4.2.2.1.	Punto 1.....	86
4.2.2.2.	Punto 2.....	86
4.2.2.3.	Punto 3.....	87
4.2.3.	ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL.....	88
4.2.3.1.	Punto 1.....	88
4.2.3.2.	Punto 2.....	89
4.2.3.3.	Punto 3.....	90
4.2.4.	RICE.....	91
4.2.4.1.	Punto 1.....	91

4.2.4.2. Punto 2.....	92
4.2.4.3. Punto 3.....	93
4.2.5. PORCENTAJE DE ASFALTO .....	94
4.2.5.1. Punto 1.....	95
4.2.5.2. Punto 2.....	95
4.2.5.3. Punto 3.....	96
4.2.6. PORCENTAJE DE VACÍOS .....	97
4.2.6.1. Punto 1.....	97
4.2.6.2. Punto 2.....	98
4.2.6.3. Punto 3.....	99
CAPÍTULO V .....	100
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
5.1. CONCLUSIONES.....	100
5.2. RECOMENDACIONES .....	104
BIBLIOGRAFÍA .....	105
ANEXOS .....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Dimensiones de la Cabeza de Prueba Ensayo Marshall .....	32
Tabla 3-2. Factores de Correlación de Estabilidad A .....	36
Tabla 3-3. Tamaño de Muestra Ensayo RICE .....	39
Tabla 3-4. Tamaño de Muestra Ensayo Porcentaje de Asfalto .....	42
Tabla 4-1. Péndulo de Fricción. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor .....	46
Tabla 4-2. Péndulo de Fricción. Punto 1 - 150 cc/m2 de producto .....	46
Tabla 4-3. Péndulo de Fricción. Punto 1 - 246 cc/m2 de producto .....	47
Tabla 4-4. Péndulo de Fricción. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor .....	47
Tabla 4-5. Péndulo de Fricción. Punto 2 - 150 cc/m2 de producto .....	48
Tabla 4-6. Péndulo de Fricción. Punto 2 - 246 cc/m2 de producto .....	48
Tabla 4-7. Péndulo de Fricción. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor .....	48
Tabla 4-8. Péndulo de Fricción. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto .....	49
Tabla 4-9. Péndulo de Fricción. Punto 3 - 246 cc/m2 de producto .....	49

Tabla 4-10. Gravedad Específica Bulk. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor - B5.....	49
Tabla 4-11. Gravedad Específica Bulk. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor - B6.....	50
Tabla 4-12. Gravedad Específica Bulk. Punto 1 - 150 cc/m2 de producto - B3.....	50
Tabla 4-13. Gravedad Específica Bulk. Punto 1 - 150 cc/m2 de producto - B4.....	51
Tabla 4-14. Gravedad Específica Bulk. Punto 1 - 246 cc/m2 de producto - 1 .....	51
Tabla 4-15. Gravedad Específica Bulk. Punto 1 - 246 cc/m2 de producto - B2.....	52
Tabla 4-16. Gravedad Específica Bulk. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor - B11 .....	53
Tabla 4-17. Gravedad Específica Bulk. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor - B12.....	53
Tabla 4-18. Gravedad Específica Bulk. Punto 2 - 150 cc/m2 de producto - B9.....	54
Tabla 4-19. Gravedad Específica Bulk. Punto 2 - 150 cc/m2 de producto - B10.....	54
Tabla 4-20. Gravedad Específica Bulk. Punto 2 - 246 cc/m2 de producto - B7.....	55
Tabla 4-21. Gravedad Específica Bulk. Punto 2 - 246 cc/m2 de producto - B8.....	55
Tabla 4-22. Gravedad Específica Bulk. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor - B17.....	56
Tabla 4-23. Gravedad Específica Bulk. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor - B18.....	56
Tabla 4-24. Gravedad Específica Bulk. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto - B15.....	57
Tabla 4-25. Gravedad Específica Bulk. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto - B16.....	57
Tabla 4-26. Gravedad Específica Bulk. Punto 3 - 246 cc/m2 de producto - B13.....	58
Tabla 4-27. Gravedad Específica Bulk. Punto 3 - 246 cc/m2 de producto - B14.....	58
Tabla 4-28. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor - B5 & B6.....	59
Tabla 4-29. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 1 - 150 cc/m2 de producto - B3 & B4 .....	59
Tabla 4-30. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 1 - 246 cc/m2 de producto - B1 & B2 .....	60
Tabla 4-31. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor - B11 & B12.....	61
Tabla 4-32. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 2 - 150 cc/m2 de producto - B9 & B10 .....	61
Tabla 4-33. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 2 - 246 cc/m2 de producto - B7 & B8 .....	62
Tabla 4-34. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor - B17 & B18.....	63
Tabla 4-35. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto - B15 & B16 .....	63
Tabla 4-36. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 3 - 246 cc/m2 de producto - B13 & B14 .....	64
Tabla 4-37. RICE. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor .....	65
Tabla 4-38. RICE. Punto 1 - 150 cc/m2 de producto.....	66
Tabla 4-39. RICE. Punto 1 - 246 cc/m2 de producto.....	67
Tabla 4-40. RICE. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor .....	68
Tabla 4-41. RICE. Punto 2 - 150 cc/m2 de producto.....	69
Tabla 4-42. RICE. Punto 2 - 246 cc/m2 de producto.....	70
Tabla 4-43. RICE. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor .....	71
Tabla 4-44. RICE. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto.....	72
Tabla 4-45. RICE. Punto 3 - 246 cc/m2 de producto.....	73

Tabla 4-46. Porcentaje de Asfalto. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor .....	74
Tabla 4-47. Porcentaje de Asfalto. Punto 1 - 150 cc/m2 de producto .....	74
Tabla 4-48. Porcentaje de Asfalto. Punto 1 - 246 cc/m2 de producto .....	75
Tabla 4-49. Porcentaje de Asfalto. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor .....	75
Tabla 4-50. Porcentaje de Asfalto. Punto 2 - 150 cc/m2 de producto .....	76
Tabla 4-51. Porcentaje de Asfalto. Punto 2 - 246 cc/m2 de producto .....	76
Tabla 4-52. Porcentaje de Asfalto. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor .....	77
Tabla 4-53. Porcentaje de Asfalto. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto .....	77
Tabla 4-54. Porcentaje de Asfalto. Punto 3 - 246 cc/m2 de producto .....	78
Tabla 4-55. Porcentaje de Vacíos. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor .....	78
Tabla 4-56. Porcentaje de Vacíos. Punto 1 - 150 cc/m2 de producto .....	79
Tabla 4-57. Porcentaje de Vacíos. Punto 1 - 246 cc/m2 de producto .....	79
Tabla 4-58. Porcentaje de Vacíos. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor .....	79
Tabla 4-59. Porcentaje de Vacíos. Punto 2 - 150 cc/m2 de producto .....	80
Tabla 4-60. Porcentaje de Vacíos. Punto 2 - 246 cc/m2 de producto .....	80
Tabla 4-61. Porcentaje de Vacíos. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor .....	80
Tabla 4-62. Porcentaje de Vacíos. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto .....	81
Tabla 4-63. Porcentaje de Vacíos. Punto 3 - 246 cc/m2 de producto .....	81
Tabla 4-64. Resumen Péndulo de Fricción. Punto 1 .....	81
Tabla 4-65. Resumen Péndulo de Fricción. Punto 2 .....	83
Tabla 4-66. Resumen Péndulo de Fricción. Punto 3 .....	84
Tabla 4-67. Resumen Gravedad Específica Bulk. Punto 1 .....	86
Tabla 4-68. Resumen Gravedad Específica Bulk. Punto 2 .....	86
Tabla 4-69. Resumen Gravedad Específica Bulk. Punto 3 .....	87
Tabla 4-70. Resumen Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 1 .....	88
Tabla 4-71. Resumen Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 2 .....	89
Tabla 4-72. Resumen Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 3 .....	90
Tabla 4-73. Resumen RICE. Punto 1 .....	91
Tabla 4-74. Resumen RICE. Punto 2 .....	92
Tabla 4-75. Resumen RICE. Punto 3 .....	93
Tabla 4-76. Resumen Porcentaje de Asfalto. Punto 1 .....	95
Tabla 4-77. Resumen Porcentaje de Asfalto. Punto 2 .....	95
Tabla 4-78. Resumen Porcentaje de Asfalto. Punto 3 .....	96
Tabla 4-79. Resumen Porcentaje de Vacíos. Punto 1 .....	97
Tabla 4-80. Resumen Porcentaje de Vacíos. Punto 2 .....	98
Tabla 4-81. Resumen Porcentaje de Vacíos. Punto 3 .....	99

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 0–1. Aplicación de Tratamiento Rejuvenecedor .....	2
Ilustración 1–1. Ubicación de la Vía .....	7
Ilustración 1–2. Comportamiento de los Pavimentos .....	10
Ilustración 1–3. Implicaciones Económicas de Diferir Inversiones de Rehabilitación .....	11
Ilustración 1–4. Implicaciones de Diferentes Estrategias en la Condición del Pavimento .....	12
Ilustración 2–1. Corte Típico de un Pavimento Flexible .....	16
Ilustración 2–2. Corte Típico de un Pavimento Semirrígido .....	17
Ilustración 2–3. Corte Típico de un Pavimento Rígido.....	17
Ilustración 2–4. Corte Típico de un Pavimento Articulado .....	18
Ilustración 2–5. Micro fisuras, Grietas .....	19
Ilustración 2–6. Permeabilidad.....	19
Ilustración 2–7. Oxidación y Deterioro: Pérdida de Finos.....	19
Ilustración 3–1. Determinación de Flujo Para Dos Tipos de Falla de Muestras .....	31
Ilustración 3–2. Dimensiones de la Cabeza de Prueba .....	32
Ilustración 3–3. Máquina de Compresión.....	33
Ilustración 3–4. Ejemplo de Medidor de Flujo (usado en el método A) .....	33
Ilustración 3–5. Ejemplo de Ensamblaje Mediante Máquina de Compresión con LVDT y Trazador (típico del método B) .....	34

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4-1. Coeficiente de Fricción vs Temperatura-Punto 1 .....	82
Gráfico 4-2. Coeficiente de Fricción vs Temperatura-Punto 2 .....	83
Gráfico 4-3. Coeficiente de Fricción vs Temperatura-Punto 3 .....	84
Gráfico 4-4. Gravedad & Densidad Bulk vs Concentración-Punto 1 .....	86
Gráfico 4-5. Gravedad & Densidad Bulk vs Concentración-Punto 2 .....	87
Gráfico 4-6. Gravedad & Densidad Bulk vs Concentración-Punto 3 .....	88
Gráfico 4-7. Estabilidad & Flujo vs Concentración-Punto 1 .....	89
Gráfico 4-8. Estabilidad & Flujo vs Concentración-Punto 2 .....	90
Gráfico 4-9. Estabilidad & Flujo vs Concentración-Punto 3 .....	91
Gráfico 4-10. Gravedad Específica Máxima Teórica vs Concentración-Punto 1.....	92
Gráfico 4-11. Gravedad Específica Máxima Teórica vs Concentración-Punto 2.....	93
Gráfico 4-12. Gravedad Específica Máxima Teórica vs Concentración-Punto 3.....	94
Gráfico 4-13. Porcentaje de Asfalto vs Concentración-Punto 1 .....	95
Gráfico 4-14. Porcentaje de Asfalto vs Concentración-Punto 2 .....	96

Gráfico 4-15. Porcentaje de Asfalto vs Concentración-Punto 3 .....	97
Gráfico 4-16. Porcentaje de vacíos vs Concentración-Punto 1 .....	98
Gráfico 4-17. Porcentaje de vacíos vs Concentración-Punto 2.....	98
Gráfico 4-18. Porcentaje de vacíos vs Concentración-Punto 3.....	99

## **ÍNDICE DE IMÁGENES**

Imagen 2-1. Vía Princesa Toa - Punto Nro. 1.....	23
Imagen 2-2. Vía Princesa Toa - Punto Nro. 2.....	23
Imagen 2-3. Vía Princesa Toa - Punto Nro. 3.....	24
Imagen 3-1. Ejecución del Ensayo Péndulo de Fricción.....	25
Imagen 3-2. Ejecución del Ensayo Densidad Bulk.....	27
Imagen 3-3. Ejecución del Ensayo Marshall .....	29
Imagen 3-4. Ejecución del Ensayo Rice .....	38
Imagen 3-5. Ejecución del Ensayo Porcentaje de Asfalto .....	41

## **ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 3-1. Densidad Específica Bulk.....	29
Ecuación 3-2. Estabilidad Corregida .....	37
Ecuación 3-3. Gravedad Específica Máxima.....	40
Ecuación 3-4. Porcentaje de Contenido de Asfalto.....	43
Ecuación 3-5. Porcentaje de Vacíos de Aire.....	45

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Normativa Francesa para el coeficiente de Rozamiento Transversal .....	107
Anexo 2. Clasificación del Pavimento Según el Coeficiente de Fricción Transversal.....	107
Anexo 3. Valores mínimos de Coeficiente de roce medido con Péndulo Inglés .....	108
Anexo 4. Criterios del Ensayo Marshall.....	108
Anexo 5. Datos de Laboratorio. Ensayo Gravedad Específica Bulk - 1 .....	109
Anexo 6. Datos de Laboratorio. Ensayo Gravedad Específica Bulk - 2 .....	110
Anexo 7. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P1 - 246.....	111
Anexo 8. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P1 - 150.....	112
Anexo 9. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P1 - S/P .....	113
Anexo 10. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P2 - 246.....	114

Anexo 11. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P2 - 150.....	115
Anexo 12. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P2 - S/P .....	116
Anexo 13. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P3 - 246.....	117
Anexo 14. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P3 - 150.....	118
Anexo 15. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P3 - S/P .....	119
Anexo 16. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P1 - 246 .....	120
Anexo 17. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P1 - 150 .....	121
Anexo 18. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P1 - S/P.....	122
Anexo 19. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P2 - 246 .....	123
Anexo 20. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P2 - 150 .....	124
Anexo 21. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P2 - S/P.....	125
Anexo 22. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P3 - 246 .....	126
Anexo 23. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P3 - 150 .....	127
Anexo 24. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P3 - S/P.....	128
Anexo 25. Datos de Laboratorio. Ensayo Marshall. Briqueta 1, 2 & 3.....	129
Anexo 26. Datos de Laboratorio. Ensayo Marshall. Briqueta 4, 5 & 6.....	130
Anexo 27. Datos de Laboratorio. Ensayo Marshall. Briqueta 7, 8 & 9.....	131
Anexo 28. Datos de Laboratorio. Ensayo Marshall. Briqueta 10, 11 & 12.....	132
Anexo 29. Datos de Laboratorio. Ensayo Marshall. Briqueta 13, 14 & 15.....	133
Anexo 30. Datos de Laboratorio. Ensayo Marshall. Briqueta 16, 17 & 18.....	134

## RESUMEN

El presente trabajo muestra un análisis comparativo sobre el desempeño de una carpeta asfáltica antes y después de ser aplicado un tratamiento rejuvenecedor de asfaltos. Lo que se busca es mejorar las propiedades mecánicas del asfalto dándole una protección superficial para que el mismo llegue a cumplir su vida útil en condiciones óptimas.

El desarrollo de los tratamientos rejuvenecedores de asfalto, se da por el motivo que, a edades muy tempranas, el asfalto comienza a presentar pequeñas grietas en su superficie las cuales a futuro pueden desarrollarse en diversos tipos de fallas más complejas. El tratamiento rejuvenecedor de asfaltos consiste en cubrir toda la superficie de rodadura con una lámina del producto rejuvenecedor el cual se presenta en estado líquido, este producto debe ser roscado por una maquina dispensadora la misma que controla la dosificación que se utilizara de producto por cada metro cuadrado, y de esta manera queda sellado y protegido el asfalto beneficiándose de las propiedades que el tratamiento le brinda.

Para determinar la dosificación necesaria del producto por cada metro cuadrado, es necesario tomar en cuenta que la misma depende de las características de la carpeta asfáltica, es decir que en un mismo proyecto la dosificación óptima puede ser distinta para los diferentes paños que se hayan realizado en la etapa de construcción, por este motivo se debe determinar la dosificación óptima para cada paño que se haya realizado en la vía.

El procedimiento consta de definir sobre el asfalto cuadrados de 1 m<sup>2</sup> de área sobre los cuales se dispensará el producto rejuvenecedor en diferentes concentraciones, a continuación, se debe esperar un tiempo de aproximadamente 6 horas hasta que el producto se seque en su totalidad y poder verificar de forma visual la cantidad de producto utilizado que cubrió completamente toda la superficie de asfalto.

De esta forma se pueden descartar concentraciones del producto que no hayan cubierto toda la superficie de asfalto y también aquellas concentraciones que hayan sido excesivas para con esto poder determinar la dosificación correcta para ese sitio analizado. Lo que se espera es que el producto se esparza sobre toda la superficie pero que se mantenga el perfil, textura y su relieve, mas no que rellene las imperfecciones del asfalto.

De esta manera queda definido un rango de concentración de producto que puede ser analizado por ensayos de laboratorio para determinar el grado de efectividad de cada uno, y poder definir la dosificación óptima

## INTRODUCCIÓN

Los asfaltos bituminosos en Ecuador y en el mundo en general sufren deterioros, en muchos casos muy tempranos, debido a los múltiples factores a los que están sometidos, empezando por el origen y composición del bitumen, forma y tecnología de aplicación de la carpeta asfáltica, características de la base y sub-base, intensidad rayos solares (especialmente en Ecuador), nivel freático y humedad ambiental, entre los principales. El deterioro en general es tratado con la aplicación de “slurries”, sellos de fisuras en frío o en caliente entre los más usados; sin embargo, estos son mantenimientos correctivos de poca eficiencia y alto costo.

Los cambios de las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica por la degradación del bitumen generan fisuras en inicio prácticamente invisibles, que posteriormente pueden degenerar en fisuras grandes, piel de cocodrilo, baches, etc., que generan riesgos, molestias y paralelamente un gran costo de mantenimiento o “reapeo” de la vía.

El mantenimiento preventivo es una alternativa que previene la llegada temprana de fisuras y posterior deterioro, por lo tanto, siempre se debe dar un tratamiento de tal manera que se pueda cumplir su tiempo de diseño, para lo cual el fin de esta investigación es usar la tecnología y producto “rejuvenecedor de asfalto”, en la cual se usa un producto que tiene la posibilidad de devolver al asfalto las condiciones óptimas y por otra parte darle un embellecimiento. Además, la carpeta asfáltica queda sellada, impidiendo el paso de agua y protegiéndola de los rayos solares. Es una tecnología de fácil aplicación y bajo costo que permite mantener el asfalto en mejores condiciones y, por tanto, lograr que se cumpla en buenas condiciones la vida útil del mismo y hasta en ciertos casos lograr que se alargue la misma. (OBRACED S.A., 2016)

Este proyecto ha surgido de la necesidad que se ve en las vías de transporte y su infraestructura sobre el deterioro que se va dando conforme pasa el tiempo, lo cual si se deja pasar llega a convertirse en un problema para los usuarios, ya que las vías se encuentran dañadas y no brindan el confort y seguridad que deberían. Esto se ha venido suscitando desde hace mucho tiempo atrás causando una serie de inconvenientes, daños en los vehículos motorizados y hasta en algunos casos accidentes. Por lo tanto, la razón de aplicar este producto será una forma preventiva de hacer que las vías que ya están usadas algún tiempo puedan mejorar sus propiedades reológicas iniciales y por ende como se mencionó anteriormente hacer que se cumpla su vida útil en óptimas condiciones.

### Ilustración 0–1. Aplicación de Tratamiento Rejuvenecedor



**Fuente:** (OBRACED S.A., 2016)

Se analizó la factibilidad de esta investigación y se llegó a la conclusión que es sumamente necesario realizar un análisis con esta nueva alternativa de mantenimiento para poder determinar si el producto efectivamente cumplirá con el objetivo general de esta investigación y ayudará a prevenir los problemas que se suscitan con el pasar del tiempo en nuestras vías. Por otra parte, se determinó que es una investigación factible ya que en muchas ocasiones las personas afectadas por la mala infraestructura vial solicitan ayuda a las entidades públicas encargadas de estos aspectos y difícilmente obtienen una respuesta, en muchos de los casos puede ser porque dichas entidades no cuentan con los recursos para poder solventar los arreglos que requieren ciertas vías, así que aquí se presenta una posible solución a estos inconvenientes ya que es un producto muy fácil de colocar y a un bajo costo comparado con el costo de bacheo o peor aún de recapeo, lo cual ayudará a dar un mantenimiento vial y evitar que las vías tengan problemas a corto plazo y por ende que los usuarios o personas que viven y se movilizan por el sector no tengan el tipo de problemas que se ven actualmente. Por esta razón se cree que será de suma importancia y ayudará a que las entidades que están a cargo de las vías puedan brindar un mantenimiento adecuado, que se eviten grandes gastos futuros y sobre todo brindar un servicio de calidad a los usuarios evitando problemas y molestias viales.

Se analiza que este producto dará muy buenos resultados y ayudará a resolver los problemas viales, ya que al ser un producto que se ha usado en EEUU y que ha dado muy buenos resultados en un país el cual es considerado una potencia mundial, se estima que si tomamos ese criterio y producto para aplicarlo en nuestro país se logrará grandes resultados y los objetivos planteados serán cumplidos logrando que las personas cuando se desplacen en sus vehículos puedan sentir un confort adecuado y la seguridad que necesitan para transportarse.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la ciudad de Quito ubicada en la Provincia de Pichincha desde hace muchos años se ha venido suscitando un grave inconveniente en las vías con los denominados baches, deterioros de carpeta, pérdida de propiedades óptimas, etc. Si bien es cierto las autoridades y entidades encargadas del mantenimiento vial en muchas ocasiones se han hecho presentes en ciertos lugares pues en otros no se ha visto ese apoyo y han seguido manteniéndose este tipo de problemas que causan una incomodidad al usuario vehicular en el día a día.

Durante esta investigación se realizarán los ensayos correspondientes de un producto llamado rejuvenecedor de asfalto WD2000 que ayudará a brindar un mantenimiento vial con el objetivo de hacer que se cumpla su vida útil y así evitar los problemas mencionados anteriormente de una manera eficaz y segura ya que, al dar el mantenimiento a las vías a un bajo costo, se logrará que éstas duren mucho más en condiciones óptimas y los usuarios y las entidades puedan estar tranquilas y conformes con la red vial.

Cabe recalcar que cuando las entidades y personal de una empresa pública realizan este tipo de trabajo en ciertas vías causan un poco de molestias primero en el tránsito vehicular y segundo hacia los ciudadanos ya que se presentan con máquinas que generan ruido y algunas por su gran tamaño también obstruyen el acceso al lugar; por otra parte las máquinas se tardan mucho tiempo en realizar los trabajos ya que transportan una serie elementos que tratan de cubrir los daños en una sola oportunidad en toda la línea vial que se les haya asignado, lo cual hace que se prolonguen los trabajos y se cause mayores problemas a los habitantes.

Con el producto que se está analizando en este proyecto todos los problemas mencionados anteriormente no se suscitaran, primero porque no se necesita de constantes mantenimientos sino que con realizar un mantenimiento cada cierto tiempo la vida útil de la vía se cumplirá y se evitara desgastes y problemas a corto plazo, por otra parte el tiempo de colocar el producto en la vía será mucho menor al de si se tiene que realizar bacheo o peor aún frezar para colocar una nueva carpeta asfáltica y no se necesita de grandes maquinarias para realizar este tratamiento sino que con una sola se podrá ir colocando el producto tramo a tramo sin causar problemas ni molestias con el ruido o accesibilidad al lugar.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Determinar si al aplicar el producto rejuvenecedor WD2000 en una carpeta asfáltica usada se mejoran sus propiedades mecánicas a fin que llegue a cumplir su vida útil en óptimas condiciones.

### **ESPECÍFICOS**

- Restaurar la flexibilidad del pavimento.
- Restaurar la ductilidad del pavimento.
- Restaurar la plasticidad del pavimento.
- Mantener la rugosidad de la capa de rodadura dentro de los parámetros óptimos.
- Impermeabilizar el pavimento.
- Disminuir el porcentaje de vacíos de aire del pavimento.
- Aumentar la estabilidad del pavimento.
- Proporcionar un aspecto de embellecimiento al pavimento.

## **METODOLOGÍA**

El tratamiento rejuvenecedor se aplica como mantenimiento sobre pavimentos existentes, el método para evaluar la efectividad de este producto sobre las características del asfalto consiste en comparar las características de un asfalto antes y después de la aplicación del producto rejuvenecedor.

Se busca evaluar las condiciones y características del pavimento en el laboratorio, las mismas que serán tomadas como referencia para después comparar con las características del asfalto ya colocado el producto.

Los ensayos se deberán realizar en laboratorios de pavimentos calificados que para este caso será en el laboratorio de pavimentos de la PUCE.

## **MUESTREO**

Según recomendaciones del fabricante, se debe encontrar la cantidad óptima de aplicación, buscando que se forme una delgada capa sobre el pavimento, la cual infiltre la parte superficial del asfalto. El área de aplicación debe estar limpia, libre de polvo y otros materiales. Si se requiere se puede usar hidro-lavado. (OBRACED S.A., 2016)

Se debe encontrar la dosis óptima de aplicación, esto a través de una prueba de infiltración, la misma que se hace en el sitio de aplicación.

La prueba de infiltración se realiza aplicando distintas dosis en áreas de 1 m<sup>2</sup>, comenzando con una dosis de 120 cc por m<sup>2</sup>, luego se aumenta la dosis a 140 cc, posteriormente se realiza con 150 cc/m<sup>2</sup> y finalmente a 160 cc. En casos de asfaltos antiguos se deberá probar con dosis más altas, hasta llegar a los 246 cc/m<sup>2</sup>. Para comprobar cuál dosis es la apropiada, se deja que el producto se infiltre por al menos 6 horas, luego de lo cual se hace una comprobación física de la cantidad remanente de producto sobre la superficie tratada. Si existe una capa de producto que se encuentre blanda, quiere decir que la dosis es excesiva, mientras que, si la capa formada está endurecida, indicará que la cantidad de producto fue la adecuada. (OBRACED S.A., 2016)

La aplicación de ensayos puede hacerse con equipos pequeños de aplicación de pintura acrílica o un equipo aspersor (spray) que permita controlar la dosis, mientras que para las aplicaciones comerciales debe usarse equipo de mayor rendimiento.

Para la comprobación en laboratorio, de la infiltración del producto y flexibilidad del asfalto deben tomarse al menos dos muestras (núcleos) del sitio tratado, y dos muestras del sitio testigo, es decir sin tratar con el rejuvenecedor. Hay que cuidar que las muestras sean tomadas en el mismo "paño" de pavimento, de lo contrario la comparación no es completamente directa. Los núcleos deben ser tomados con la maquinaria apropiada de manera que sean representativos. (OBRACED S.A., 2016)

La toma de muestras debe ser realizada a partir de 48 a 72 horas después de haber aplicado el producto para que luego puedan ser llevadas al laboratorio de asfaltos de la PUCE (instituto avalado para dichas pruebas).

De los núcleos tomados, se realizarán ensayos en el laboratorio para poder tener los resultados de las características que presenten los mismos tanto de los núcleos sin tratar como de los núcleos aplicados el producto rejuvenecedor y así poder realizar las comparaciones posteriores de los resultados obtenidos.

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES

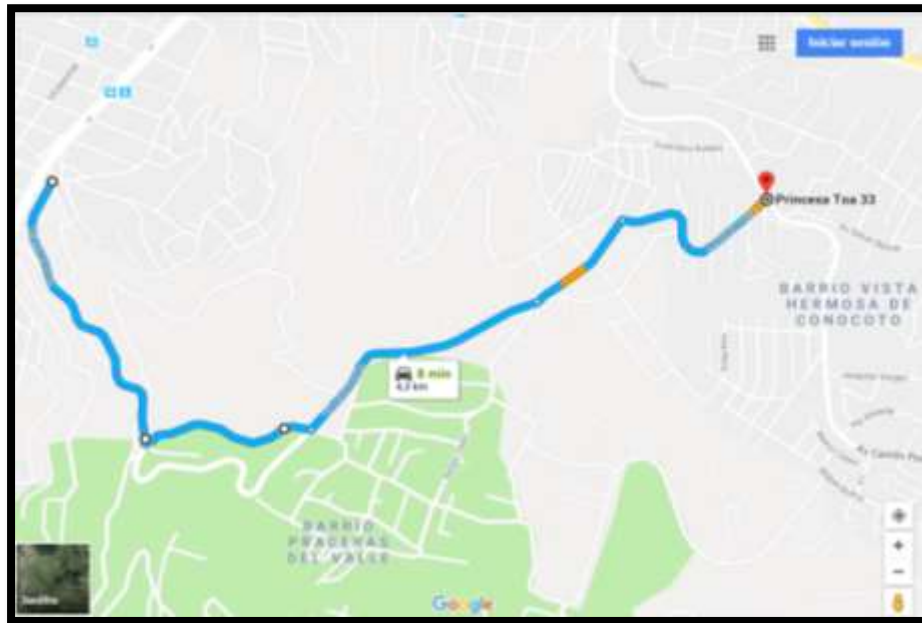
La investigación se llevará a cabo en una vía de pavimento asfáltico, en el que su superficie cuente con las condiciones necesarias para aplicar éste tipo de mantenimiento, se trata de una superficie la cual no tenga presencia de daños estructurales mayores como baches o agrietamientos mayores como piel de cocodrilo o fallas longitudinales pronunciadas, debido a que el tratamiento rejuvenecedor es un mantenimiento preventivo el cual busca mantener a la vía en óptimas condiciones mejorando las propiedades del pavimento existente, se aceptan fisuras mínimas siempre que el producto rejuvenecedor pueda mantener la textura y el perfil del pavimento asfáltico sin llegar a rellenar grietas. La aplicación del producto rejuvenecedor corresponde a un tratamiento previo a cualquier otro tipo de mantenimiento y debe utilizarse con antelación a la aparición de fallas significativas estructurales en el pavimento, ya que otro tipo de fallas mayores estarían ligadas a mantenimientos correctivos.

El tratamiento rejuvenecedor de asfaltos busca intervenir prontamente en las condiciones estructurales de la vía para protegerlo de las condiciones climáticas y mejorar sus capacidades con respecto a las cargas a las que se encuentre sometido. Tomando en cuenta todas las consideraciones anteriores, se podría aplicar este tipo de tratamiento en todas las superficies asfálticas ya sean aeropuertos, vías, parqueaderos, etc.

### 1.2. CARACTERÍSTICAS Y UBICACIÓN DE LA VÍA

La vía bajo análisis se encuentra ubicada en el sector sur este de la Ciudad de Quito, la cual conecta la Av. Simón Bolívar con la intersección entre las vías Princesa Toa y Camilo Ponce Enríquez. Vía a Conocoto-Vía Princesa Toa. Su longitud es de 4800 metros. Cuenta con un tramo de doble carril bidireccional de 670 metros sobre la Vía Princesa Toa, y su continuación es de un solo carril bidireccional. Presenta gradientes longitudinales en un rango del 4 al 10%.

### Ilustración 1–1. Ubicación de la Vía



Fuente: (Google Maps, 2018)

## 1.3. ASFALTOS Y PRODUCTOS DERIVADOS

### 1.3.1. ASFALTOS

El asfalto es una sustancia líquida de color negro que se utiliza como material ligante, derivado de la destilación del petróleo crudo, es un elemento clave en los materiales de impermeabilización y aislamiento, también se utiliza para hacer cubiertas para tejados, pero su aplicación más conocida es pavimentar carreteras, el cemento asfáltico es un producto derivado del petróleo y es este ingrediente el que se mezcla con rocas trituradas y otros minerales para hacer asfalto.

#### 1.3.1.1. Propiedades y características

Dependiendo de las condiciones en las que se encuentre el crudo, puede hacer que varíe la composición química del asfalto y por ende que varíe también su calidad. Existen diferentes tipos de asfaltos los cuales se los puede diferenciar dependiendo su nivel de penetración producto de a través los procesos de refinación petroquímica.

Se encuentra compuesto principalmente por hidrocarburos.

### **1.3.1.2. Composición**

Está constituido principalmente por betunes que pueden ser naturales u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se presenta en proporciones variables en la mayoría de los petróleos crudos.

### **1.3.1.3. Producción**

La producción comienza en la cantera de la fábrica en donde a unos 15 bajo la superficie los operarios utilizan maquinaria pesada para recoger las rocas de granito que caen tras volar las paredes de roca, los camiones transportan las rocas a la fábrica de pavimentos ubicada generalmente en la propia cantera, depositan su carga en la trituradora principal, una maquina cuyas mandíbulas de acero transforman estas enormes rocas en unos fragmentos de unos 20 cm, se necesita una fuerza tremenda para triturar la roca maciza, los volantes motores que aumentan la energía del motor pesan más de 6 toneladas. La trituradora principal descarga los fragmentos en una cinta transportadora que envía la piedra triturada a una zona de almacenamiento, cuando llega el momento de hacer el asfalto la piedra viaja sobre una cinta desde la zona de almacenamiento a un edificio de criba en donde es clasificada por tamaños, aquí la roca cae sobre una serie de rejillas metálicas cuyos agujeros más grandes tienen un tamaño de 10 cm de ancho, las piezas más grandes se envían a una segunda trituradora que las reduce a piedras cuyo tamaño no superan los 10 cm, después se envían a una tercera o cuarta trituradora que los transforma en fragmentos de 2 cm o menos, las piedras que son lo bastante pequeñas para pasar las rejillas se saltan la trituradora secundaria y son enviadas directamente a la tercera tras esta última fase las piedras más grandes miden ahora unos 2 cm, los fragmentos que no superen los 5 milímetros se depositan en un montón incluido el polvo de piedra resultante del triturado, las piedras de entre 10 y 14 milímetros se depositan en otro montón, las que miden entre 5 y 10 milímetros en otro, los camiones llevan el material de cada montón a distintos compartimentos llamados tolvas de alimentación, el material que se emplea para producir asfalto depende de lo que se vaya a pavimentar pero en general estos son los 4 componentes principales: arena, polvo de piedra, piedras de entre 5-10 milímetros y piedras de entre 10 y 14 milímetros las proporciones de los componentes varían según el uso que se vaya a dar al asfalto, las piedras junto con la arena y el polvo de piedra normalmente constituyen el 95% de la medida, lo restante que se añade después será cemento asfáltico líquido.

Cada tolva libera una cantidad de material que cae sobre una cinta que circula bajo ésta, las cintas confluyen en una principal que deposita los ingredientes ya combinados en

otra aun mayor que conduce a una secadora, el proceso de secado que dura sobre un minuto elimina los restos de humedad esto permitirá que los materiales se mezclen mejor con el cemento asfáltico, un conjunto de cribas separa de nuevo los ingredientes secos permitiendo así pesar la cantidad exacta de cada uno, a continuación se envía todo a una mezcladora, la maquina mezcla todos los elementos, llega el momento de bombear cemento asfáltico caliente. Las refineras de petróleo hacen cemento asfáltico con lo que queda tras haber procesado el petróleo crudo, esta mezcla contiene al menos un 5% de cemento asfáltico. La mezcladora vacía el producto en camiones que lo llevan hasta la zona asfaltada, aquí una maquina asfaltadora esparcirá el asfalto caliente sobre la carretera, después una apisonadora lo compactará y una hora después el asfalto se habrá enfriado y endurecido.

#### **1.4. MANTENIMIENTO VIAL**

El mantenimiento de la infraestructura vial nace de la necesidad de mantener en óptimas condiciones las superficies de transporte vehicular con el fin de lograr que las mismas cumplan con sus periodos de vida útil, ahorrando un porcentaje muy alto de los recursos que se necesitarían para volverlas a construir en caso de daños.

Durante los últimos 20 años, el mantenimiento vial ha ganado mayor importancia ya que se han demostrado las ventajas económicas de su aplicación en todo tipo de vías, y también por el beneficio que representa para una civilización mantener vías de comunicación terrestre que garantizan su desarrollo y su competitividad, mejorando la calidad de vida.

Durante las últimas décadas se han invertido muchos recursos para desarrollar nuevos productos y técnicas que mejoren la eficiencia del mantenimiento vial, por el motivo de que las vías siguen aumentando debido al crecimiento de las ciudades y la necesitan de estar interconectadas, el desgaste diario de las superficies de rodadura debido al transporte de carga generan la necesidad de planificar en el tiempo un plan de mantenimiento de las mismas para no llegar al punto en que deban ser reconstruidas en periodos muy cortos debido a los grandes daños acumulados.

##### **1.4.1. GENERALIDADES SOBRE EL MANTENIMIENTO VIAL**

Un país puede determinar su nivel de desarrollo en función del estado de la infraestructura vial existente, ya que la misma muestra una relación directa con el producto interno bruto, este concepto toma razón por el simple motivo de mencionar que una red estatal en óptimas condiciones garantiza que el comercio se realice de manera más rápida y segura teniendo

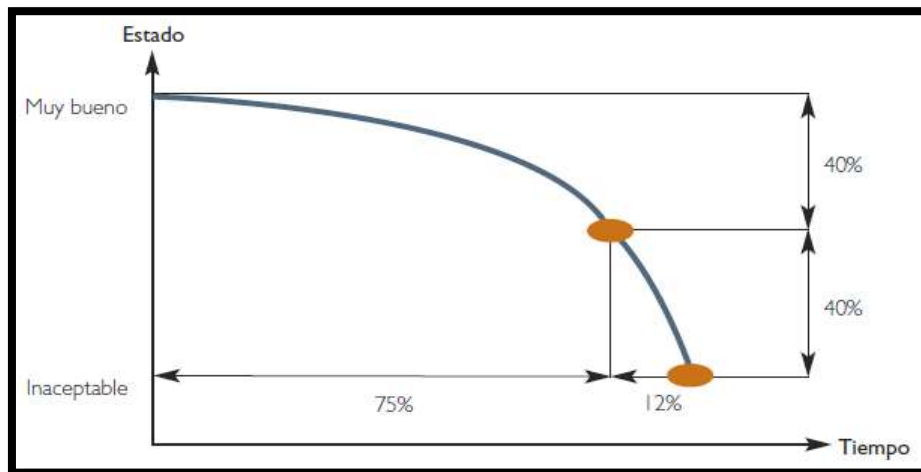
como resultado el buen estado de la carga y por ende mejorando los índices de productividad del país.

Por este motivo cada administración encargada del buen estado de las carreteras debe tener una planificación en la cual se de mantenimiento vial en función de su vida útil.

Se puede decir que cuando el asfalto es nuevo, se encuentra en su más alto nivel de servicio y comportamiento, lo ideal sería que se mantenga en condiciones óptimas a lo largo de su vida útil, para lograr estas condiciones de servicio es necesario aplicar mantenimiento debido a que las cargas a las cuales es sometido el asfalto, condiciones meteorológicas y climáticas, alteran sus propiedades mecánicas y físicas, disminuyendo su nivel de servicio.

En la ilustración 1-2 se puede observar el comportamiento del pavimento en función del tiempo de servicio. Se puede observar que, al inicio de su vida, el pavimento se encuentra en su mejor estado y conforme pasa el tiempo empieza a deteriorarse y su rendimiento disminuye. También se ha determinado gráficamente la existencia de dos estados “muy buena” e “inaceptable” las mismas que responden a la percepción de los usuarios y la exigencia en términos de calidad de los mismos.

**Ilustración 1-2. Comportamiento de los Pavimentos**



**Fuente:** (CAF, 2010)

Puede determinarse visualmente el estado de una carretera a manera muy general, es importante conocer la edad del pavimento analizado ya que el deterioro incrementa a mayor razón mientras más años de servicio éste posea, se podría decir también que el deterioro comienza desde el primer día de operación. Mientras más años de servicio tenga el asfalto la

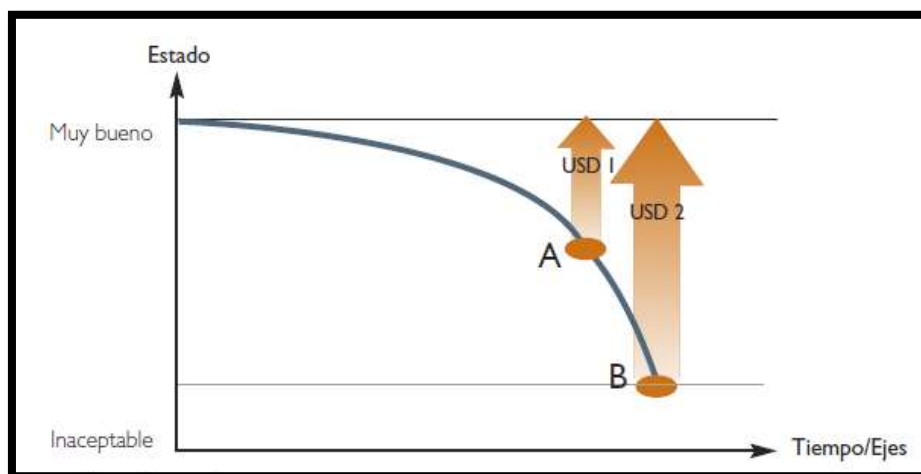
condición de degradación se alcanza con mayor facilidad, es por esta razón que el mantenimiento vial se clasifica según el estado estructural de la vía, en sus inicios necesitara un mantenimiento superficial mientras que en los últimos años de su vida útil este mantenimiento será de carácter estructural.

Gráficamente se determina el comportamiento más usual del pavimento, se observa que el deterioro del pavimento alcanza un 40% durante el 75% de la vida útil y a partir de ese punto el deterioro es más progresivo llegando a incrementarse un 40% más en apenas un 12% de la vida útil. Por lo que se puede decir que el deterioro del asfalto se presenta de manera exponencial.

Este comportamiento y su evolución a través del tiempo ayudan a determinar el tiempo en el cual un pavimento necesita de un mantenimiento, y el tipo de mantenimiento determina también el costo del mismo, es importante recalcar que mientras el deterioro aumenta el costo del mantenimiento lo hace de la misma forma.

En la ilustración 1-3 se muestra se presenta adicionalmente la magnitud del costo en función del deterioro de la vía. Se puede decir que mientras más tiempo se espere para hacer un mantenimiento, el mismo tendrá un costo mayor.

### Ilustración 1-3. Implicaciones Económicas de Diferir Inversiones de Rehabilitación

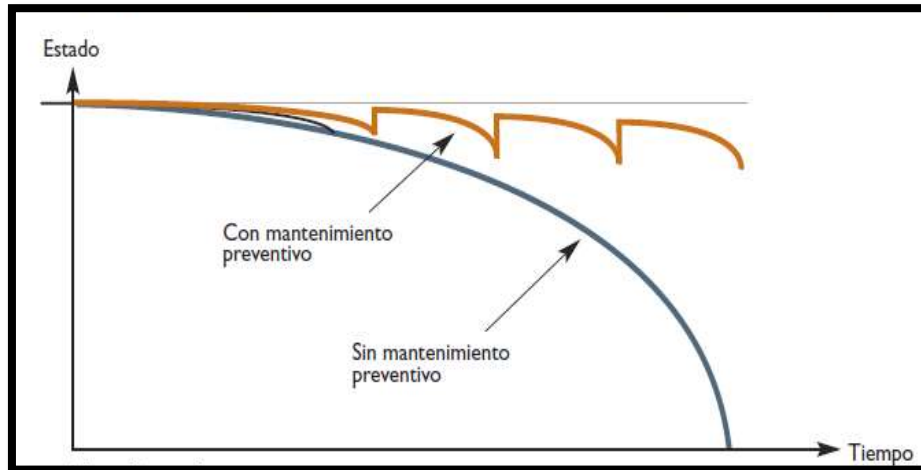


Fuente: (CAF, 2010)

En la ilustración 1-4 se puede observar el estado de la vía en presencia y ausencia de un mantenimiento vial, cuando se realiza una planificación para el mantenimiento vial, ésta puede alargar su vida útil y la relación del costo de mantenimiento se mantiene baja con

respecto a una vía en la que se posterga el mantenimiento vial necesario para mantenerla en óptimas condiciones.

#### **Ilustración 1–4. Implicaciones de Diferentes Estrategias en la Condición del Pavimento**



**Fuente:** (CAF, 2010)

### **1.4.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO VIAL**

Se debe realizar el debido mantenimiento en vías y carreteras, para que las mismas se encuentren en óptimas condiciones de operación y se garantice que las estructuras viales cumplan con su tiempo de vida útil. A continuación, se presentan las diferentes etapas en las cuales se debe realizar un mantenimiento a las vías:

#### **1.4.2.1. Mantenimiento rutinario**

Comprende todas las acciones que se deben tomar para evitar el inicio del deterioro de una vía, dichas acciones tienen lugar a lo largo de toda la vía y durante todos los días del año, con la finalidad de mantener las condiciones iniciales de operación.

Algunas de las actividades que se realizan en este tipo de mantenimiento son:

- Limpieza de obras de arte (cunetas, alcantarillas, tuberías, drenajes, puentes peatonales y vehiculares, túneles, viaductos, etc.).
- Limpieza de calzadas y bermas.
- Reparación de la señalización horizontal y vertical.
- Limpieza postes delineadores y barreras de contención.
- Rellenos de baches.

#### **1.4.2.2. Mantenimiento preventivo**

Generalmente tiene lugar antes de la época de mayor ocurrencia de precipitaciones pluviales. La finalidad de este tipo de mantenimiento es dejar en las mejores condiciones a la vía para que enfrente las condiciones climatológicas extremas a futuro.

Comúnmente se realizan las siguientes actividades:

- Limpieza de obras de arte (cunetas, alcantarillas, etc.).
- Limpieza de los puentes (pilas, drenajes, juntas metálicas, etc.).
- Dragado de los ríos.
- Limpieza de las torrenteras.
- Bacheo superficial.
- Mantenimiento de guardavías.

#### **1.4.2.3. Mantenimiento periódico**

Es aquel mantenimiento que se planifica para periodos más grandes, generalmente de 1 a 5 años, con el fin de impedir el empeoramiento de fallas existentes o la aparición de nuevas fallas y así mantener en óptimas condiciones la capa superficial y todos los elementos de señalización y drenaje.

Generalmente se realizan las siguientes actividades:

- Recapeo o colocación de capas de refuerzo.
- Reposición de afirmados.
- Reconformación de la plataforma.
- Sellado asfáltico.
- Recubrimiento de vías no pavimentadas.
- Reposición de materiales granulares.
- Perfilado y nivelado.
- Reposición de señalética informativa
- Reposición de señalética preventiva
- Reposición de señalética reglamentaria

#### **1.4.2.4. Mantenimiento de emergencia**

Es aquel tipo de mantenimiento que se realiza de improviso cuando ocurren situaciones que modifican las condiciones de la vía e impiden su correcto funcionamiento, se pueden presentar cuando las condiciones climáticas favorecen la presencia de lluvias y en estos casos pueden ocurrir emergencias, también se presentan cuando existen feriados.

Las actividades más comunes en este tipo de mantenimiento son:

- Limpieza de derrumbes.
- Estabilizar taludes.
- Reposición de plataforma.

## **1.5. REJUVENECEDORES DE ASFALTO**

Actualmente existen en el mercado diferentes tipos de rejuvenecedores de asfalto, los mismo que tienen la capacidad modificar las características del asfalto para mejorar sus propiedades, dependiendo del tipo de rejuvenecedor se puede tratar de productos que se utilizan directamente sobre la superficie asfaltada o de tratamientos que se mezclan con asfaltos reciclados para su reutilización.

### **1.5.1. TIPOS DE REJUVENECEDOR DE ASFALTO**

- Rejuvenecedores de asfalto para pavimentos asfálticos reciclados.
- Sellador – rejuvenecedor para pavimentos asfálticos.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. PAVIMENTOS**

##### **2.1.1. DEFINICIÓN**

Un pavimento es una estructura vial formada por una o varias capas de materiales seleccionados que se construyen técnicamente sobre la subrasante, y es capaz de resistir las cargas impuestas por el tránsito y la acción del medio ambiente, así como transmitir al suelo de apoyo o fundación esfuerzos y deformaciones tolerables, además de proporcionar la circulación de los vehículos con rapidez, comodidad, seguridad y economía. (Higuera Sandoval, 2010)

##### **2.1.2. CARACTERÍSTICAS QUE DEBE CUMPLIR UN PAVIMENTO**

Según, (Montejo Fonseca, 2008), un pavimento para que pueda cumplir adecuadamente las funciones para las que fue diseñado debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe ser económico.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

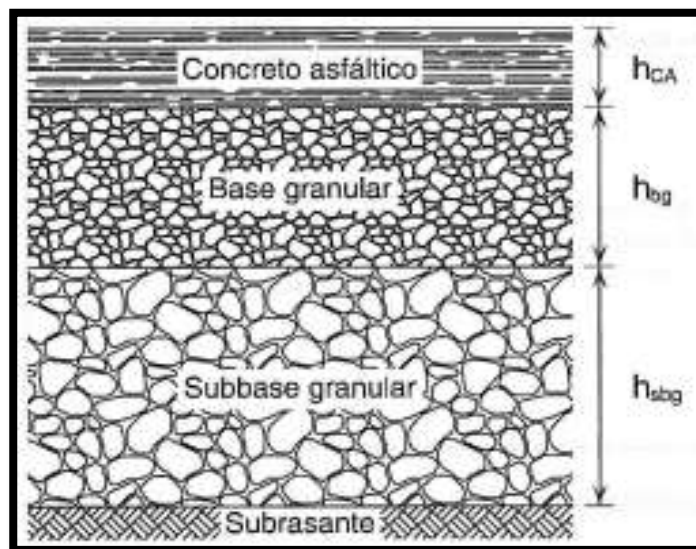
### 2.1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

“En general los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, pavimentos semi-rígidos o semi-flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados”. (Montejo Fonseca, 2008)

#### 2.1.3.1. Pavimentos Flexibles

Los pavimentos flexibles son aquellos que están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades que se tenga en cada obra en particular. (Montejo Fonseca, 2008)

**Ilustración 2-1. Corte Típico de un Pavimento Flexible**

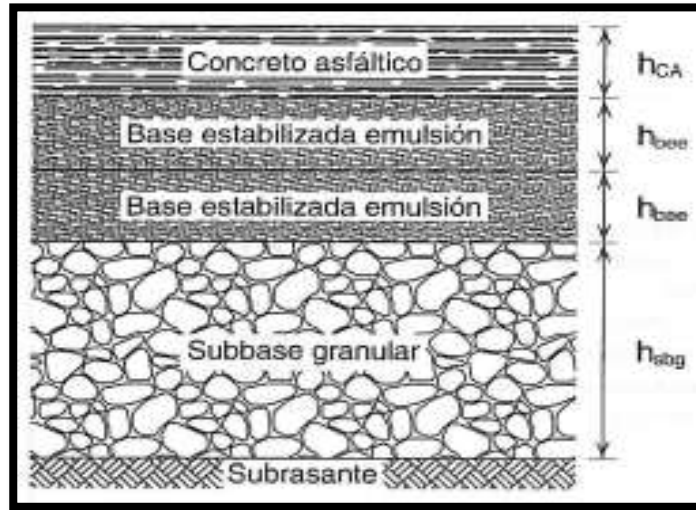


**Fuente:** (Higuera Sandoval, 2010)

#### 2.1.3.2. Pavimentos Semi-rígidos

En las últimas décadas se ha extendido el uso de un nuevo tipo de estructura que podríamos llamar “pavimento mixto” o “semirrígido”, que es, esencialmente, un pavimento flexible en el cual a alguna de sus capas se le ha dado una rigidez alta, mediante tratamientos específicos con asfalto, cemento, cal u otros productos. La transmisión de los esfuerzos al suelo de soporte o fundación se hace en parte por disipación y otro tanto por repartición, por eso se asume que tienen un comportamiento mixto. (Higuera Sandoval, 2010)

**Ilustración 2-2. Corte Típico de un Pavimento Semirrígido**

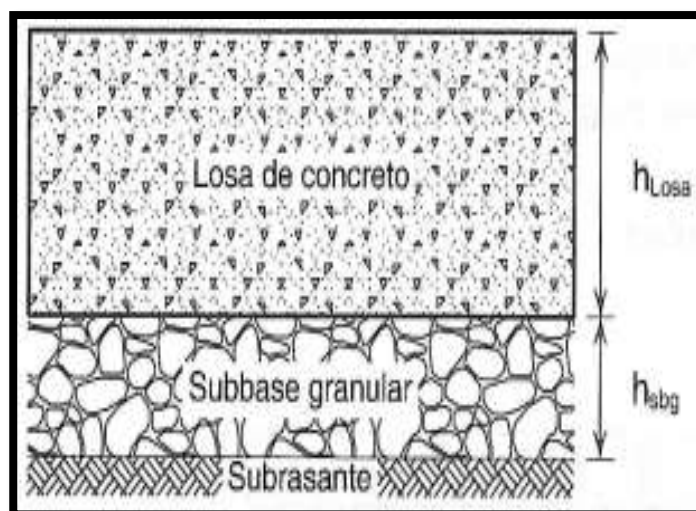


**Fuente:** (Higuera Sandoval, 2010)

### 2.1.3.3. Pavimentos Rígidos

Según, (Higuera Sandoval, 2010), los pavimentos rígidos son aquellos que están formados por una losa de concreto hidráulico de gran rigidez, la cual está apoyada sobre la subrasante o una capa de material seleccionado denominada subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico y a su elevado módulo de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia.

**Ilustración 2-3. Corte Típico de un Pavimento Rígido**

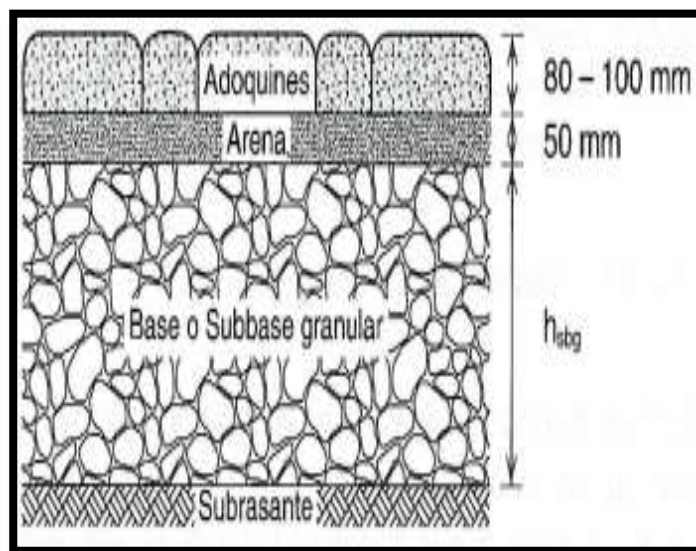


**Fuente:** (Higuera Sandoval, 2010)

#### 2.1.3.4. Pavimentos Articulados

Según, (Higuera Sandoval, 2010), un pavimento articulado es aquel que está formado por elementos prefabricados (bloques o adoquines) de pequeñas dimensiones, que individualmente son muy rígidos y se asientan sobre una capa de arena llamada cama. Estos van asentados sobre la subbase o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de la misma. Tienen como finalidad transmitir los esfuerzos al suelo de soporte mediante un mecanismo de disipación de tensiones.

**Ilustración 2–4. Corte Típico de un Pavimento Articulado**



**Fuente:** (Higuera Sandoval, 2010)

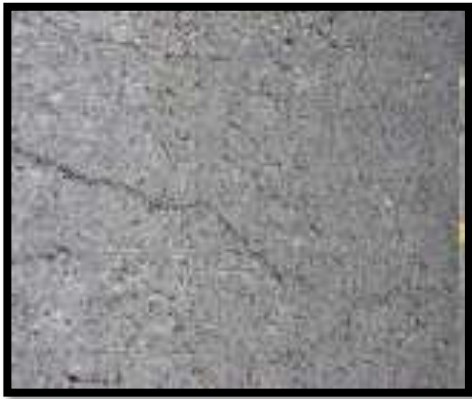
#### 2.1.4. FALLAS MÁS COMUNES EN LOS PAVIMENTOS

Las fallas en los pavimentos comúnmente se dan por las siguientes razones:

- La humedad, oxidación y radiación de los rayos ultravioleta.
- La pérdida de elasticidad y propiedades adhesivas de los asfaltos.
- El alto costo que demanda realizar un buen mantenimiento o un frezado para colocar una nueva carpeta asfáltica.
- Pavimentos que no se pueden renovar o reparar fácilmente, como en puentes por su capacidad de carga limitada.
- El tiempo que se tarda en renovar el pavimento asfáltico y tener fuera de servicio el tráfico en los caminos y calles. (XPHALT, 2018)

Entre las fallas más comunes en las vías de tránsito moderado se tienen:

**Ilustración 2–5. Micro fisuras, Grietas**



**Ilustración 2–6. Permeabilidad**



**Fuente:** (XPHALT, 2018)

**Ilustración 2–7. Oxidación y Deterioro: Pérdida de Finos**



**Fuente:** (XPHALT, 2018)

## **2.2. REJUVENECEDOR WD2000**

El producto WD2000 es un sellador y rejuvenecedor de asfaltos diseñado para reducir el proceso de envejecimiento de los pavimentos de asfalto existentes causados por la intemperie. Este producto puede ser aplicado en varios sitios que tengan asfalto como por ejemplo pistas, carreteras, estacionamientos y senderos lo que le ayudará al pavimento a poder restaurar su flexibilidad, ductilidad, plasticidad y además a proteger al asfalto de los derrames de combustible, de la intrusión de aire y agua, convirtiéndose en un arte integral del pavimento de asfalto. (LONE STAR SPECIALTIES. LLC, 2010)

Es importante mencionar que al colocar este producto en el pavimento aparte de ayudarle a mejorar sus propiedades físicas y hacer que se reduzca el proceso de envejecimiento, éste le embellece dándole una apariencia de pavimento nuevo.

WD2000 es un sellador penetrante para superficies de asfalto lo cual es uno de los primeros pasos en varios programas de mantenimiento preventivo. Cabe recalcar que cuando existen áreas muy agrietadas en el pavimento primero se las debe preparar para luego proceder a la aplicación del producto, ya que éste no se debe utilizar como relleno de grietas.

### **2.2.1. COMPOSICIÓN**

WD2000 es un producto que se compone de alquitrán de hulla y aceites de alquitrán de hulla preparados a partir de una brea de alquitrán de hulla a alta temperatura. Se fabrica para cumplir con FAA EB 44B, sellador / rejuvenecedor de alquitrán de carbón P-629 y P-632 para rejuvenecedores. WD2000 ha sido aprobado por la FAA para cumplir con todos los requisitos de Buy American para proyectos con financiación federal. Contiene menos del 1% de agua, según lo verificado por el procedimiento ASTM D95, y no contiene arena u otros elementos de relleno. (LONE STAR SPECIALTIES. LLC, 2010)

Los alquitranes y el aceite en WD2000 trabajan juntos para evitar los efectos decimales del calor y el desgaste en cualquier superficie de asfalto.

### **2.2.2. LUGARES DE APLICACIÓN**

La aplicación de este producto es muy amplia ya que se lo puede aplicar en diferentes estructuras que tengan asfalto en las cuales se aplicarán ciertas cargas. Es un tratamiento que puede ayudar a mejorar dichas estructuras para que el pavimento no sufra daños pronto y pueda cumplir con la vida útil para el cual fue diseñado.

A continuación, se presentan los lugares principales en los que se puede colocar el producto:

#### **2.2.2.1. Vías y Estacionamientos**

WD2000 también se puede usar en estacionamientos y carreteras secundarias. Tiene un proceso dual que le permite convertirse en una parte integral del asfalto gracias a los aceites de alquitrán que ayudan a aumentar la ductilidad del asfalto existente, mientras que los alquitranes superiores sellan la superficie del asfalto. El solvente renueva las propiedades del asfalto mientras les ayuda a cumplir el ciclo de vida de los asfaltos y a veces hasta llega a ayudar a aumentar la misma, así como también mantiene el material original de la superficie de la carretera. (LONE STAR SPECIALTIES. LLC, 2010)

Este producto es solo un conservante, no un procedimiento de superposición que puede ser costoso por lo que se puede volver a aplicar sin necesidad de acumulación ni otras reparaciones costosas.

#### **2.2.2.2. Aeropuertos**

WD2000 tiene todos los mismos beneficios de carreteras y estacionamientos para las pistas de los aeropuertos ya que si bien es cierto las pistas de aeropuertos son diseñadas para resistir más cargas y están compuestas de mayor espesor de asfalto el producto lo que hace es darle un tratamiento de colocación superficial que sin importar el espesor de la capa de rodadura éste puede empezar a hacer efecto en el pavimento y ayudarle al mismo a recuperar sus propiedades físicas necesarias para que la vía pueda cumplir con su vida útil a la que fue diseñada. (LONE STAR SPECIALTIES. LLC, 2010)

Las cualidades penetrantes de WD2000 permiten que el producto se vuelva a aplicar cada 3 a 5 años sin acumulación. Las propiedades de unión del asfalto permiten que se renueve constantemente, manteniendo las condiciones óptimas de la superficie.

#### **2.2.3. SUGERENCIAS DE APLICACIÓN**

- Aplicar diferentes dosificaciones en la carpeta asfáltica en áreas de 1m<sup>2</sup> hasta poder establecer aquella que cubra toda el área y sobre todo mantenga el relieve y perfil del pavimento. Se sugiere para pavimentos nuevos empezar con dosificaciones desde 120cc a 160cc debido al tiempo de secado y sobre todo que de no cumplirse esto no habría suficiente material para absorber y enlazar. Para pavimentos más antiguos aplicar dosificaciones más altas hasta llegar a los 246cc.

**Precaución:** Si aplica WD2000 en PFC, asegúrese de limpiar a fondo, puede haber un asentamiento de polvo en las grietas y esto hará que el rejuvenecedor no se adhiera. No aplique demasiado para que cierre todos los agujeros de drenaje.

- Asegurarse que el camión cisterna que trae el material se haya limpiado a fondo y que las compuertas estén desenchufadas para que no contamine el camión cisterna o el distribuidor. Limpie a fondo su distribuidor después de la aplicación. WD2000 absorberá un poco del aceite, pero el aceite no absorberá ninguno de los WD2000 y podría causar enrollamiento.

- Se ha encontrado que el diluyente de laca industrial barato limpiará las bombas y la barra de pulverización. Agregue un par de litros de aceite ligero después lo que evitará que las bombas se peguen. Si las bombas se atascan, coloque un disolvente de laca en el filtro en el lado de succión. Asegúrese de limpiar el filtro de la pantalla para que una persona pueda obtener la presión precisa de la bomba y la boquilla. Cuanto más limpio sea el equipo, más fácil será el trabajo.
- Se debe tener precaución en las superposiciones debido al hecho de que el material tarda el doble en secarse. En general, la superposición y el radio son los últimos en secarse.
- Al hacer una intersección principal y crítica, rocíe con la menor cantidad de materiales posible. Tomará aproximadamente 2 horas de tiempo de secado a 38 °C.
- La limpieza recomendada para un derrame accidental es mediante una escobilla de goma y arena y una bolsa para absorber y barrer el exceso.
- Las herramientas que se necesitan para la limpieza y la aplicación: escobilla de goma, escoba y pala y por seguridad: guantes aprobados por ANSI, protección para los ojos, limpiador de manos, jabón y agua, diluyente de laca y siempre lleve colirio. Si el material entra en la piel, asegúrese de bajarse lo antes posible.
- WD2000 ha demostrado tener un tiempo de almacenamiento de hasta 18 meses. Para mantener el WD2000 en el almacén, circule una vez a la semana.

**Pintura:** la extracción debe resumirse con dos aplicaciones. La primera capa se debe diluir del 25% al 30% y aplicar a la superficie. Treinta días después, aplique una segunda capa sin diluir con reflectante. Esto le dará los mejores resultados y mantendrá a sus clientes contentos con la calidad.

**Precaución:** conozca el grosor del asfalto antes de conducir sus camiones sobre él, podría dañarlo.

#### **2.2.4. PRUEBAS RECIENTES**

Las pruebas de fricción son muy importantes a la hora de considerar un producto sellador / rejuvenecedor para su asfalto envejecido. Los resultados de pruebas recientes han

demostrado que WD2000 produce promedios de fricción de más del 70 por ciento a velocidades de 40 mph.

Además de cumplir con EB 44B, WD2000 cumple con las especificaciones FAA P-32 y P-629. (LONE STAR SPECIALTIES. LLC, 2010)

En las últimas pruebas realizadas se llegó a la conclusión que el WD2000 es un producto de calidad que satisface todas las necesidades en temas de mejoramiento y tratamiento de un pavimento que aún se encuentra en buenas condiciones.

### **2.3. PUNTOS CONSIDERADOS EN LA INVESTIGACIÓN**

La vía Princesa Toa tiene una longitud de 4800m en los cuales se han considerado 3 puntos para el análisis y la colocación del producto WD2000. Estos puntos fueron establecidos en base al criterio de los estudiantes conjuntamente con el ingeniero que ayudó a realizar esta investigación.

**Imagen 2-1. Vía Princesa Toa - Punto Nro. 1**



**Imagen 2-2. Vía Princesa Toa - Punto Nro. 2**



**Imagen 2-3. Vía Princesa Toa - Punto Nro. 3**



### **2.3.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN**

Los criterios establecidos para poder seleccionar los puntos a considerar de la vía para nuestra investigación fueron:

- Distancia de punto a punto uniforme.
- Uniformidad en la capa de rodadura.
- Zonas de mayor tránsito vehicular.
- Ancho de calzada uniforme.
- Tramos de vía de un mismo paño de pavimento.

### **2.3.2. ABCISA DE PUNTOS EN CONSIDERACIÓN**

Como se mencionó anteriormente la vía tiene una longitud de 4800m tomados en cuenta desde la intersección de la vía Princesa Toa con la Av. Camilo Ponce Enríquez y la intersección de la vía Princesa Toa con la Av. Simón Bolívar. Los puntos a considerar fueron los siguientes:

**Punto 1:** Ubicado en la abscisa 0+500

**Punto 2:** Ubicado en la abscisa 1+500

**Punto 3:** Ubicado en la abscisa 3+000

Los puntos establecidos tienen una distancia entre sí de 1000m entre los puntos 1 y 2 y de 1500m entre los puntos 2 y 3.

## CAPÍTULO III

### 3. ENSAYOS DE LABORATORIO

#### 3.1. PENDULO DE FRICCION

Imagen 3-1. Ejecución del Ensayo Péndulo de Fricción



##### 3.1.1. IMPORTANCIA

Este ensayo se utiliza para determinar cuantitativamente la fricción de una superficie ya sea en campo o en laboratorio, en este caso la superficie del pavimento asfáltico, por medio del equipo de péndulo británico. El equipo conocido como péndulo británico sirve para determinar el impacto dinámico por medio de la pérdida de energía resultado de friccionar una base de goma (deslizador) sobre la superficie a ensayar. Los valores de fricción obtenidos en este ensayo son BPN (número de péndulo británico) y el valor del pulido en el caso de muestras de ruedas de pulido aceleradas.

##### 3.1.2. SÍNTESIS

En este ensayo se utiliza el equipo de péndulo británico el cual comprende una base de goma estándar la cual se emplea en la determinación de los valores de fricción de una superficie de prueba. Dicha superficie debe ser limpiada y humedecida en su totalidad previo al ensayo. A continuación se coloca el péndulo británico de tal manera que la base de goma y la superficie de prueba entren en un ligero contacto, luego se eleva la base de goma hasta una posición anclada en la parte superior del equipo para después ser liberado y que la misma entre en contacto con la superficie de prueba y se produzca la fricción, este movimiento giratorio del péndulo lleva consigo un puntero de arrastre el cual en su posición final determina el valor BPN, este valor es directamente proporcional a la fricción existente entre

las superficies de contacto; a mayor fricción, mayor será el tiempo que tome el giro del péndulo.

### **3.1.3. EQUIPO Y ACCESORIOS**

- Equipo de péndulo británico. - tiene que cumplir con las especificaciones de la normativa, las mismas que ya tiene por defecto desde su fabricación:
  - ❖ Peso: incluido el deslizador, el péndulo y el soporte debe ser de  $1500\pm 30$  g.
  - ❖ Distancia: entre el centro de gravedad del péndulo y el centro de oscilación debe estar entre  $411\pm 5$  mm.
  - ❖ Trayectoria de contacto deslizante: debe estar entre  $125\pm 1.6$  mm. para superficies planas, y  $77\pm 1$  mm. para ensayos de ruedas de pulido.
  
- Regla normada. - se utiliza para medir la trayectoria de contacto, 124 a 127 mm.
- Contenedores de agua.
- Termómetro de superficie.
- Cepillo.

### **3.1.4. MODELO DE PRUEBA**

En todos los casos de ensayo cabe mencionar que la superficie de prueba debe estar libre de todo tipo de partículas para lo cual utilizamos un cepillo para limpiar cualquier material granular y después se debe limpiar la superficie de prueba con la suficiente cantidad de agua limpia. La superficie de prueba no necesariamente debe ser horizontal, pero debe estar dentro de una gradiente que permita la nivelación del equipo de péndulo británico con el solo uso de los tornillos niveladores.

### **3.1.5. ACONDICIONAMIENTO DEL EQUIPO**

Al equipo de péndulo británico se lo debe establecer en una posición inicial la cual se detalla a continuación:

- El equipo debe estar perfectamente nivelado, para lo cual se debe usar solamente los tornillos niveladores y verificar con la burbuja de aire.
- El mecanismo del péndulo debe estar en la posición cero; es decir el deslizador debe estar bloqueado en su posición más alta, listo para ser liberado y empezar el ensayo. Al proceso de liberar el deslizador y obtener un valor de BPN lo llamaremos un “swing”.

### 3.1.6. PROCEDIMIENTO

A continuación, se presenta la metodología paso a paso:

1. Humedecer la superficie de prueba y realizar un swing (no tomar la lectura BPN).
2. Ejecutar cuatro swings más, humedeciendo cada vez la superficie de prueba y tomar los respectivos valores de BPN.
3. Verificar la longitud de contacto entre el deslizador y la superficie de prueba con la regla graduada.

## 3.2. GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK

**Imagen 3-2. Ejecución del Ensayo Densidad Bulk**



### 3.2.1. IMPORTANCIA

Este ensayo se utiliza para determinar la densidad aparente y densidad Bulk de modelos de mezclas de asfalto previamente compactadas, las mismas que no deben permitir la entrada de agua mayor al 2% en volumen a través de huecos en su superficie.

### 3.2.2. DEFINICIONES

- Densidad aparente. - se refiere a la masa que ocupa un metro cubico de la muestra a una temperatura de 25°C.
- Densidad Bulk. - se refiere a la relación que existe entre la masa de un material y la masa de agua correspondiente al mismo volumen y temperatura (25°C)

### **3.2.3. SÍNTESIS**

Se determina la masa seca de cada muestra de prueba, posteriormente se las sumerge en agua a una temperatura de 25°C, se espera hasta que la balanza se estabilice y se toma lectura, se recuperan las muestras del agua y se las seca con un paño y se las vuelve a pesar en la balanza; con estos 3 datos se procede a realizar los cálculos para la determinación del peso y en base a la densidad del agua se puede obtener la densidad Bulk.

Estos resultados también sirven como datos para poder determinar posteriormente el porcentaje de huecos de aire en las muestras de prueba y también se puede determinar el grado de compactación de las mismas.

### **3.2.4. CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA**

Las muestras pueden ser elaboradas en laboratorio o pueden ser obtenidas en campo; para el segundo caso, deben ser extraídas con el equipo necesario para no alterar la estructura del pavimento, en este caso es recomendable utilizar un taladro extractor de núcleos.

Con respecto al tamaño de las muestras, las mismas deben tener un diámetro de al menos 4 veces el tamaño del máximo agregado mientras que su espesor debería ser al menos 1,5 veces el tamaño máximo del agregado.

Es importante que las muestras estén libres de todo tipo de material ajeno a la estructura del pavimento, por lo que deben ser limpiadas su superficie antes de la extracción; también se debe mantener limpia la parte inferior de la muestra por lo que se separa todo material perteneciente a la base, suelo, etc.

Es importante trabajar en la última capa de pavimento; por lo que se debe separar los núcleos en sus diferentes capas mediante la maquina cortadora con cierra.

### **3.2.5. PROCEDIMIENTO**

Se determina la masa de la muestra seca después de mantenerla a una temperatura constante de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  y se la denomina como valor "A", posteriormente se sumerge la muestra en el baño de agua a  $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  y se espera de 3 a 5 minutos hasta que el dato en la balanza se estabilice; si la temperatura de la muestra y la temperatura del agua varían en más de  $2^\circ\text{C}$  se debe esperar un tiempo de 10 a 15 minutos antes de registrar la masa en agua denominada como "C"; finalmente se retira la muestra del agua y en menos de 15 segundos se la debe secar con un trapo humedecido y pesarla al aire; denominando este valor como "B".

### 3.2.6. CÁLCULO

Con los datos obtenidos en el ensayo se procede a realizar los cálculos:

La densidad Bulk queda determinado por la siguiente fórmula:

#### Ecuación 3-1. Densidad Específica Bulk

$$\text{Densidad Bulk} = \frac{A}{(B - C)}$$

Donde:

*A = masa de la muestra seca en aire, gramos.*

*(B - C) = masa del volumen de agua para el volumen de la muestra a 25°C.*

*B = masa del espécimen con superficie seca saturada pesada al aire, gramos.*

*C = masa de la muestra en agua, gramos.*

### 3.3. ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL

#### Imagen 3-3. Ejecución del Ensayo Marshall



#### 3.3.1. IMPORTANCIA

Este ensayo se utiliza para determinar la resistencia al flujo plástico de muestras asfálticas (núcleos), las cuales se les aplica una carga transversal por medio del equipo Marshall. Aplicado en mezclas de pavimento asfáltico con agregados de tamaño máximo de una pulgada.

### **3.3.2. RECOMENDACIONES**

El tiempo de recalentado de las muestras asfálticas en horno debe ser lo más corto posible debido a que a temperaturas altas el asfalto se puede envejecer y cambiar sus características mecánicas.

### **3.3.3. SÍNTESIS**

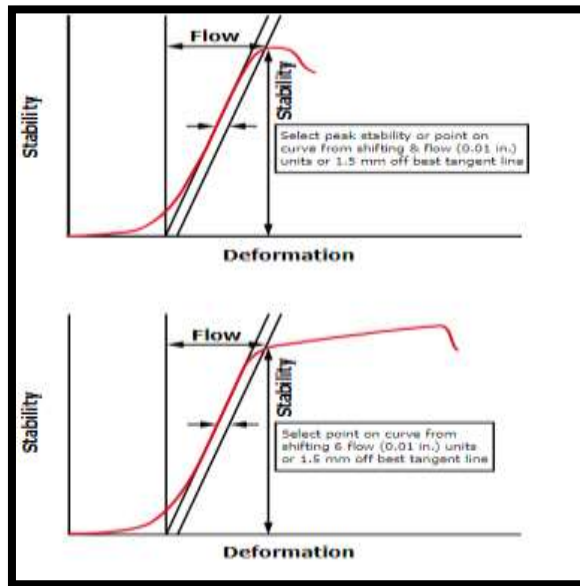
Particularmente los resultados de este ensayo (estabilidad y flujo) son características que tienen un uso importante en el control de la producción de una mezcla de asfalto; además junto a otros datos como la densidad, la cantidad total de los vacíos de aire en la mezcla y en los agregados sirven para determinar el diseño final de un pavimento asfáltico.

La Estabilidad Marshall quedaría definida como la carga de resistencia máxima producto de la aplicación de una carga constante de deformación. Se puede realizar de dos maneras diferentes, conocidas como:

- Método A.- también conocido como el método tradicional, utiliza un marco de carga junto a un anillo de carga y un medidor de flujo para la deformación.
- Método B.- también conocido como método automatizado, se utiliza un equipo de registro automático, el cual comprende un registrador de flujo y un transductor diferencial variable de carga de carga.

La estabilidad Marshall queda definida gráficamente cuando la tasa de aumento de carga empieza su descenso, y se empieza a formar una trayectoria horizontal; esta gráfica varía dependiendo la calidad del bitumen y los agregados utilizados en la fabricación de la muestra de prueba.

### Ilustración 3–1. Determinación de Flujo Para Dos Tipos de Falla de Muestras



**Fuente:** (ASTM International, Método de prueba estándar ASTM D6927-15 para la estabilidad de Marshall y el flujo de mezclas asfálticas, 2015)

Por otro lado, el flujo Marshall representa la medida de la deformación (elástico más plástico) mientras se produce la prueba de estabilidad Marshall, en otras palabras, el flujo Marshall determina la deformación total existente en el tramo comprendido entre la proyección de la tangente intersecada con el eje x hasta el valor en el cual la curva comienza a volverse horizontal.

En casos en los que la condición de falla o la gráfica no se ajusta al comportamiento mencionado anteriormente se puede proceder de la siguiente manera: se traza la tangente en la parte diagonal de la gráfica y a ésta se le traza una paralela en la parte derecha a una distancia de seis unidades de flujo y se trabaja con esta nueva línea guía.

Es importante mencionar que la prueba Marshall es aplicable cuando las mezclas asfálticas están conformadas por agregados de una pulgada como tamaño máximo, es necesario promediar el resultado de por lo menos tres muestras de prueba para los resultados de estabilidad y flujo Marshall donde el incremento de aglutinante varía en rangos de 0,5%.

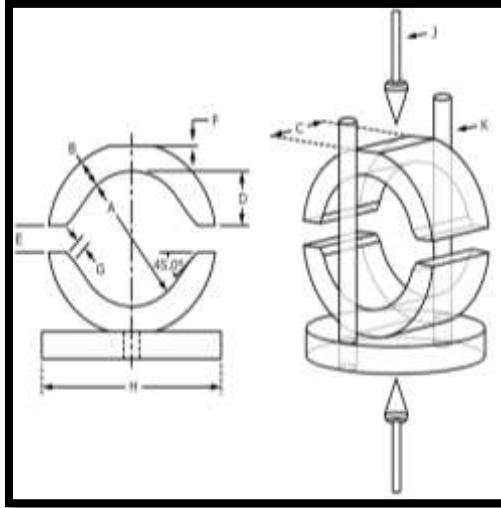
Si el procedimiento se realiza en núcleos extraídos en campo, los resultados de estabilidad y flujo Marshall servirán de información o a manera de evaluación del pavimento. Es de suma importancia que la superficie de los núcleos se encuentre completamente lisa y las caras sean perpendiculares al eje cilíndrico.

### 3.3.4. APARATO

El equipo Marshall consta de las siguientes partes:

- Cabeza de ruptura. - se trata de dos segmentos que conforman un cilindro en donde se deposita la muestra de prueba.

**Ilustración 3–2. Dimensiones de la Cabeza de Prueba**



**Fuente:** (ASTM International, Método de prueba estándar ASTM D6927-15 para la estabilidad de Marshall y el flujo de mezclas asfálticas, 2015)

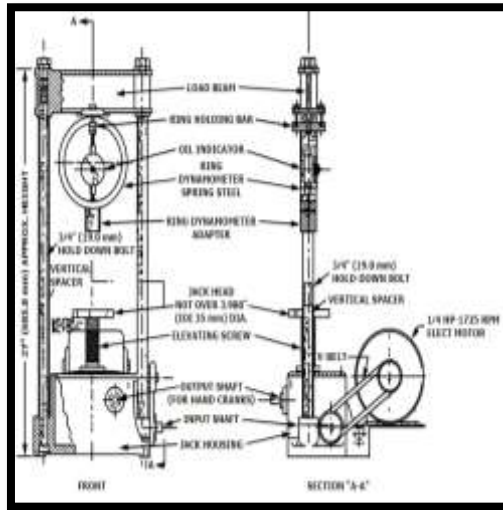
**Tabla 3-1. Dimensiones de la Cabeza de Prueba Ensayo Marshall**

	mm.	in.
A	101.5 a 101.7	3.995 a 4.005
B	Mínimo 21.7	Mínimo de 0,855
C	Mínimo de 76.2	Mínimo de 3.0
D	41.15 a 41.40	1.620 a 1.630
E	18.92 a 19.18	0.745 a 0.755
F	Referencia 2.0	0.08 referencia
G	8.89 a 9.09	0.350 a 0.358
H	Mínimo de 101.3	Mínimo 3.990
J	Fuerzas transmitidas a través de una superficie esférica y una plana.	
K	La geometría del sistema de guía debe estar apreciablemente libre de juego y atadura. Una de las pruebas para atar es levantar o bajar la cabeza con un solo buje guía.	

**Fuente:** (ASTM International, Método de prueba estándar ASTM D6927-15 para la estabilidad de Marshall y el flujo de mezclas asfálticas, 2015)

- Máquina de compresión. - debe ser capaz de aplicar una carga constante y producir un movimiento vertical de  $50 \pm 5$  mm/min.

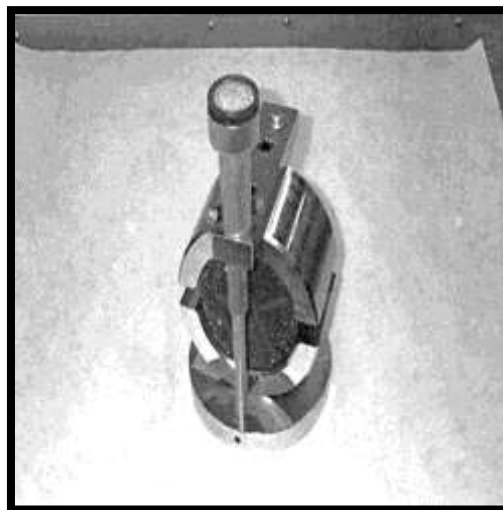
**Ilustración 3–3. Máquina de Compresión**



**Fuente:** (ASTM International, Método de prueba estándar ASTM D6927-15 para la estabilidad de Marshall y el flujo de mezclas asfálticas, 2015)

- Sistema de medición de carga. - puede utilizarse un dinamómetro de anillo nominal calibrado (20 KN) con una sensibilidad de 50 N.
- Medidor de flujo. - consta de un mango guía y un calibrador, debe ser capaz de medir intervalos de 0.25 mm o menores.

**Ilustración 3–4. Ejemplo de Medidor de Flujo (usado en el método A)**



**Fuente:** (ASTM International, Método de prueba estándar ASTM D6927-15 para la estabilidad de Marshall y el flujo de mezclas asfálticas, 2015)

**Ilustración 3–5. Ejemplo de Ensamblaje Mediante Máquina de Compresión con LVDT y Trazador (típico del método B)**



**Fuente:** (ASTM International, Método de prueba estándar ASTM D6927-15 para la estabilidad de Marshall y el flujo de mezclas asfálticas, 2015)

- Baño de agua. - sus dimensiones deben ser capaces de almacenar las muestras de prueba y cubrirlas con agua 30 mm por encima de su superficie, debe ser capaz de mantener una temperatura constante de prueba con un margen de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  en cualquier parte del tanque, también debe tener una placa perforada en el fondo capaz de soportar las muestras de prueba y un equipo rotador de agua.
- Horno. - con una precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- Termómetro. - con precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

### **3.3.5. PROCEDIMIENTO**

Este método solo es aplicable para las mezclas asfálticas en caliente para pavimentos obtenidos empleando cemento asfáltico y agregados cuyo tamaño máximo es de una pulgada o menor.

El método en sí, comienza con la preparación de probetas fabricadas con la mezcla asfáltica, pero previamente a esta operación se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Que los materiales se hayan ensayado para saber si cumplen con las especificaciones.
- Que la dosificación de agregados satisfaga las normas fijadas por las especificaciones en cuanto a granulometría.

- Que se disponga de suficiente volumen de agregados previamente secados y divididos por grupos, según su tamaño.
- Que se determine el peso específico real de todos los agregados pétreos empleados en la mezcla y el peso específico del cemento asfáltico, con objeto de utilizarlos en los análisis de vacíos y densidad de la mezcla.

Los dos objetivos principales del Método Marshall son un análisis de las relaciones entre densidad y volumen de vacíos y un ensayo para la determinación de la estabilidad y flujo de las briquetas compactadas.

La estabilidad de las briquetas es la máxima carga en libras que puede resistir la biqueta normalizada a 60°C (140°F) cuando se realiza el ensayo de rotura a compresión de la forma que se indica en el método.

El flujo es el movimiento o deformación total que se produce en la biqueta desde el comienzo hasta la carga máxima durante el ensayo de estabilidad, expresado en centésimas de pulgada.

Es necesario que se disponga de por lo menos 3 muestras de cada punto deseado para realizar un promedio de los valores de estabilidad y flujo. Estas muestras deben contener las mismas características en sus componentes y su forma; es decir deben tener la misma fuente de agregados y material bituminoso como su proceso de fabricación incluido temperaturas a las que estuvieron expuestas.

Las muestras deben cumplir con las dimensiones requeridas para el ensayo posteriormente se utiliza el baño de agua en un periodo de 30 a 40 minutos para elevar la temperatura de las muestras a  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ , también se puede realizar este procedimiento utilizando el horno de 120 a 130 minutos. Es importante que las muestras se mantengan a la temperatura indicada ya que la variación de temperatura modifica los resultados de la prueba.

Después se procede a la preparación del equipo, se debe limpiar los anillos del cabezal y las varillas guía; a continuación, se lubrica con aceite las barras guía para que puedan encajar perfectamente; el equipo debe permanecer a una temperatura de 20 a 40 °C.

Continuando con el ensayo, se debe seleccionar una muestra del baño de agua y secar el exceso con un paño seco y ubicarla sobre el anillo inferior del cabezal; el anillo superior se

coloca a continuación encajando las varillas guía; una vez que está completo el segmento se lo coloca sobre el equipo de medición de carga.

Con respecto al equipo, el medidor de flujo debe posicionarse en cero antes de iniciar el ensayo. Una vez que se inicia el ensayo se debe medir el tiempo que transcurre entre el momento en que las muestras salen del baño hasta que se aplica la carga final; este intervalo debe durar menos de 30 segundos.

La carga debe aplicarse a una velocidad constante de  $50 \pm 5$  mm/min. En este caso utilizamos el método de prueba B, por lo cual se debe detener la prueba cuando la tasa de carga empieza a disminuir, es decir cuando la gráfica empieza a descender.

### 3.3.6. CÁLCULO

Es importante determinar las dimensiones de las muestras de prueba ya que posteriormente al ensayo se puede requerir realizar una operación de correlación para corregir los datos obtenidos; esto es necesario si los volúmenes o grosores de las muestras varían demasiado.

A continuación, se presenta los factores de correlación de estabilidad:

**Tabla 3-2. Factores de Correlación de Estabilidad A**

Volumen de muestra, cm <sup>3B</sup>	Espesor del espécimen <sup>B</sup>		Relación de correlación
	en.	mm	
200 a 213	1.00 (1)	(25.4)	5.56
214 a 225	1,06 (1 <sup>1</sup> / 16)	(27.0)	5.00
226 a 237	1,12 (1 <sup>1</sup> / 8)	(28.6)	4.55
238 a 250	1,19 (1 <sup>3</sup> / 16)	(30.2)	4.17
251 a 264	1,25 (1 <sup>1</sup> / 4)	(31.8)	3.85
265 a 276	1,31 (1 <sup>5</sup> / 16)	(33.3)	3.57
277 a 289	1,38 (1 <sup>3</sup> / 8)	(34.9)	3,33
290 a 301	1,44 (1 <sup>7</sup> / 16)	(36.5)	3.03
302 a 316	1,50 (1 <sup>1</sup> / 2)	(38.1)	2,78
317 a 328	1,56 (1 <sup>9</sup> / 16)	(39.7)	2.50
329 a 340	1,62 (1 <sup>5</sup> / 8)	(41.3)	2.27
341 a 353	1,69 (1 <sup>11</sup> / 16)	(42.9)	2.08
354 a 367	1,75 (1 <sup>3</sup> / 4)	(44.4)	1.92
368 a 379	1,81 (1 <sup>13</sup> / 16)	(46.0)	1.79
380 a 392	1,88 (1 <sup>7</sup> / 8)	(47.6)	1,67
393 a 405	1,94 (1 <sup>15</sup> / 16)	(49.2)	1.56

406 a 420	2.00 (2)	(50.8)	1.47
421 a 431	2,06 (2 <sup>1</sup> / 16)	(52.4)	1,39
432 a 443	2,12 (2 <sup>1</sup> / 8)	(54.0)	1,32
444 a 456	2,19 (2 <sup>3</sup> / 16)	(55.6)	1.25
457 a 470	2,25 (2 <sup>1</sup> / 4)	(57.2)	1.19
471 a 482	2,31 (2 <sup>5</sup> / 16)	(58.7)	1.14
483 a 495	2,38 (2 <sup>3</sup> / 8)	(60.3)	1.09
496 a 508	2,44 (2 <sup>7</sup> / 16)	(61.9)	1.04
509 a 522	2,50 (2 <sup>1</sup> / 2)	(63.5)	1.00
523 a 535	2,56 (2 <sup>9</sup> / 16)	(65.1)	0.96
536 a 546	2,62 (2 <sup>5</sup> / 8)	(66.7)	0.93
547 a 559	2,60 (2 <sup>11</sup> / 16)	(68.3)	0.89
560 a 573	2,75 (2 <sup>3</sup> / 4)	(69.8)	0.86
574 a 585	2,81 (2 <sup>13</sup> / 16)	(71.4)	0.83
586 a 598	2,88 (2 <sup>7</sup> / 8)	(73.0)	0.81
599 a 610	2,94 (2 <sup>15</sup> / 16)	(74.6)	0.78
611 a 626	3.00 (3)	(76.2)	0.76

(A) La estabilidad medida de una muestra multiplicado por la relación para el espesor de la muestra es igual a la estabilidad corregido para un 2<sup>1</sup> / 2 en. Espécimen (63,5 mm).

(B) La relación volumen-espesor se basa en un diámetro de muestra de 4 pulg. (101.6 mm).

**Fuente:** (ASTM International, Método de prueba estándar ASTM D6927-15 para la estabilidad de Marshall y el flujo de mezclas asfálticas, 2015)

### **Ecuación 3-2. Estabilidad Corregida**

$$A = B \times C$$

*dónde:*

*A = estabilidad corregida,*

*B = medida de estabilidad (carga), y*

*C = relación de correlación de la tabla 1.*

### 3.4. RICE

**Imagen 3-4. Ejecución del Ensayo Rice**



#### 3.4.1. IMPORTANCIA

Este ensayo se utiliza para determinar la densidad y la densidad teórica máxima de las mezclas de pavimento a una temperatura de 25°C.

#### 3.4.2. DEFINICIONES

- Densidad. - el término se refiere a la masa contenida en un metro cúbico a una temperatura de 25°C.
- Presión residual. - se refiere a la presión que existe en un recipiente de vacío mientras se le aplica vacío.
- Gravedad específica. - se refiere a la relación que existe entre la masa de un material a una temperatura determinada con la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura.

#### 3.4.3. SÍNTESIS

Se debe determinar la masa necesaria de la muestra de prueba la misma que debe estar en estado seco y disgregado en un recipiente, posteriormente se aplica agua temperada según los requerimientos del ensayo y se procede a extraer el aire en la máquina de vacío, se mantiene una presión residual de 4kPa durante  $15 \pm 2$  min, a continuación, se permite el ingreso del aire de forma gradual a la muestra.

Para determinar el volumen de la muestra se procede sumergiendo el contenedor con la muestra completamente en agua a una temperatura de 25°C y pesándolo en aire, previamente se debe conocer el volumen del contenedor, partiendo de estos datos de masa y volumen a

una temperatura específica se procede al cálculo de la gravedad específica de la muestra de prueba.

#### 3.4.4. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra estará en función del tamaño máximo nominal del agregado, para lo cual se presenta la siguiente tabla:

**Tabla 3-3. Tamaño de Muestra Ensayo RICE**

Tamaño nominal máximo del agregado, mm [in.]	Tamaño mínimo de muestra, g
37,5 [1 1/2] o mayor	5000
19 a 25 [3/4 a 1]	2500
12.5 [1/2] o menor	1500

**Fuente:** (ASTM International, ASTM D2041 / D2041M-11 Método de prueba estándar para la máxima densidad y densidad específica teórica de mezclas de pavimentación bituminosas, 2011)

Si el tamaño de la muestra supera los dos tercios del volumen del contenedor, se debe analizar por separado en muestras de 1250 gramos como mínimo.

#### 3.4.5. PROCEDIMIENTO

La masa de muestra debe ser secada al horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , a continuación y con la muestra aún caliente se procede a disgregar el material con las manos separando completamente todos los agregados, se debe evitar ejercer una presión tal que pueda destruir los agregados, se deja enfriar la muestra y se vuelve a disgregar con las manos esto es debido a que en el enfriamiento las partículas se vuelven a juntar y quedan parcialmente pegadas unas con otras, el tamaño final de las partículas debe ser inferior a 6 mm.

A continuación, se coloca la muestra en el contenedor y se pesa la masa total al aire, nombrándolo como "A", se agrega agua a una temperatura de  $25^\circ\text{C}$  al contenedor hasta cubrir toda la muestra y se coloca la tapa hermética.

Se coloca el contenedor en el mecanismo de agitación mecánica y se procede al mismo tiempo a eliminar el aire contenido en la muestra por medio de la bomba de vacío, la presión residual debe

oscilar entre  $3.7 \pm 0.3$  kPa dentro de los primeros 2 minutos y se continua a este ritmo durante  $15 \pm 2$  minutos.

Una vez que se ha extraído todo el aire de la muestra se procede a liberar la presión con la válvula de purga.

Se procede con el pesaje en aire: el contenedor se sumerge con la muestra en el baño de agua a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  y se espera aproximadamente 10 minutos hasta que todos los elementos alcancen la misma temperatura incluido la tapa del contenedor, a continuación, se coloca la tapa en el contenedor, esto lo vamos a realizar bajo el nivel del agua para que no ingrese aire a la muestra. Sacamos el contenedor del agua y secamos completamente la superficie con un trapo, procedemos a determinar la masa del recipiente y temperatura, este proceso se repite una segunda vez hasta que la diferencia de masas sea inferior a 1.0 gramo.

### 3.4.6. CÁLCULO

A continuación, se presentan las fórmulas necesarias para la determinación de la gravedad específica máxima:

#### **Ecuación 3-3. Gravedad Específica Máxima**

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$$

dónde:

$G_{mm}$  = gravedad específica máxima de la mezcla,

$A$  = Masa de muestra seca en aire, g,

$B$  = masa de la tapa y el recipiente con agua a  $25^\circ\text{C}$  [ $77^\circ\text{F}$ ], g, y

$C$  = masa de tapa, recipiente, muestra y agua a  $25^\circ\text{C}$  [ $77^\circ\text{F}$ ], g.

### 3.5. PORCENTAJE DE ASFALTO

**Imagen 3-5. Ejecución del Ensayo Porcentaje de Asfalto**



#### 3.5.1. IMPORTANCIA

Este ensayo sirve para determinar el contenido de asfalto en una mezcla de pavimento por el método de ignición. Los agregados que se obtienen como resultado de eliminar el asfalto en la mezcla asfáltica sirven para determinar la granulometría de la muestra de prueba.

#### 3.5.2. RESUMEN DEL METODO DE PRUEBA

Mediante el uso del horno se elimina el asfalto contenido en la muestra de prueba, y por medio de la diferencia de masas se determina la cantidad de asfalto que existía inicialmente en la muestra, este resultado se presenta de manera porcentual.

Se definen dos métodos de prueba, A y B, para los cuales el horno tiene sistema de pesaje que puede ser automático y de forma manual respectivamente.

#### 3.5.3. RECOMENDACIONES

Este ensayo puede servir para determinar la calidad de la mezcla asfáltica en función de la cantidad de material ligante que posea la muestra.

#### 3.5.4. EQUIPO

- Balanza. - con una precisión de 0.1 gramos.
- Bandejas de muestra
- Bandeja de captura
- Pala transportadora de bandeja.
- Espátulas

- Horno mecánico.
- Horno de ignición.

### 3.5.5. RIESGOS

Este ensayo en particular presenta sus riesgos debido a las altas temperaturas a las que se exponen los materiales y demás accesorios que están en contacto con el técnico de

### 3.5.6. CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA

Es necesario que la muestra sea disgregada en partículas más pequeñas para exponer la superficie de las partículas a la temperatura interna del horno y que de esta forma se evapore el material asfáltico de una forma más rápida. Se puede calentar previamente la muestra para ayudar a la disgregación del material granular.

La cantidad de muestra utilizada está en función del tamaño máximo nominal del agregado de la mezcla y se encuentra definido en la siguiente tabla.

**Tabla 3-4. Tamaño de Muestra Ensayo Porcentaje de Asfalto**

Tamaño nominal máximo del agregado nominal, mm	Masa mínima de muestra, kg
4.75	0.5
9.5	1
12.5	1.5
19.0	2
25.0	3
37.5	4

**Fuente:** (ASTM International, Método de prueba estándar ASTM D6307-16 para el contenido de asfalto de la mezcla asfáltica mediante el método de ignición, 2016)

### 3.5.7. EQUIPOS Y ACCESORIOS

- Horno de ignición. - capaz de mantener una temperatura superior a 580°C y además tener la capacidad de determinar la masa interna, debe soportar tamaños de muestra de alrededor de 2500 gramos y tener un sistema de que registre los datos de pérdida de masa con una precisión de 0,1 gramos. Es importante tener en cuenta que el ensayo termina cuando la pérdida de masa en el intervalo de medida es inferior al 0.01%, resultado de

promediar 3 intervalos de 1 minuto cada uno. El horno debe contar con un sistema que re direccione los gases producidos de la evaporación del asfalto hacia un lugar más seguro y también debe contar con una impresora que muestre continuamente el estado del ensayo, también debe cumplir ciertas características de seguridad como, por ejemplo: la puerta debe tener un sistema de bloqueo mientras el ensayo está en proceso.

- Filtros para el horno.

### **3.5.8. PROCEDIMIENTO**

Determinar la masa de muestra de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado, presentado en la tabla anterior, colocar la muestra en el horno y mantener a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  posteriormente se determina el proceso de quemado y el horno se elevará a la temperatura necesaria para evaporar el asfalto.

Al mismo tiempo se debe pesar al aire la masa de la bandeja de prueba y luego se coloca la muestra en esta bandeja y se vuelve a pesar con una exactitud de 0.1 gramos.

A continuación se coloca la bandeja en el horno y se cierra la puerta, se ingresa en el panel del horno los datos obtenidos de las masas de bandeja y bandeja con muestra y se procede al ensayo; en este punto la puerta del horno se sella y no se abre hasta que el ensayo haya terminado, esto ocurre cuando la diferencia de masas en 3 intervalos consecutivos de un minuto cada uno no varié en más del 0.01% de la masa de la muestra, este cálculo lo realiza automáticamente el horno y lo presenta de forma impresa. El horno devuelve un cálculo del porcentaje de asfalto contenido en la muestra inicial en valor de porcentaje.

### **3.5.9. CÁLCULOS**

Se debe realizar una corrección del valor de contenido de asfalto entregado por el horno; para lo cual se trabaja con la siguiente fórmula y datos obtenidos durante el ensayo:

#### **Ecuación 3-4. Porcentaje de Contenido de Asfalto**

$$\%AC = \left( \frac{M_B - M_A}{M_B} \times 100 \right) - C_F$$

dónde:

- $AC$  = el porcentaje de contenido de asfalto medido en masa de la muestra de mezcla asfáltica secada en horno,
- $M_A$  = masa total del agregado restante después de la ignición,
- $M_B$  = masa total de la muestra de mezcla asfáltica antes de la ignición, y
- $C_F$  = Factor de calibración obtenido en la Sección 9 e ingresado en el sistema de recolección de datos del horno.

### **3.6. PORCENTAJE DE VACIOS**

#### **3.6.1. IMPORTANCIA**

Una vez obtenidos los datos en los anteriores ensayos se puede proceder a calcular el porcentaje de vacíos en la muestra de prueba. Se necesitan los datos obtenidos del ensayo Marshall (estabilidad y flujo), también se requiere de la densidad y huecos para cada conjunto de muestras de prueba.

#### **3.6.2. DEFINICIONES**

- Vacíos de aire. - se refiere a los espacios de aire que se encuentran entre las partículas de la mezcla asfáltica.
- Mezclas densas de asfalto. - mezclas de asfalto en las cuales los vacíos de aire son menores al 10% cuando se compactan.
- Mezclas de asfalto abiertas. - mezclas en las cuales los vacíos de aire superan el 10% en estado de compactación.

El valor del porcentaje de vacíos es un parámetro determinante al momento de diseñar las mezclas de asfalto y también sirven en el análisis del estado de compactación de las muestras asfálticas.

#### **3.6.3. CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA**

Las muestras de prueba pueden ser elaboradas en el laboratorio o ser extraídas directamente del campo en forma de núcleos.

#### **3.6.4. PROCEDIMIENTO**

Se determinan procesos para mezclas densas y mezclas abiertas de asfalto.

En el caso de mezclas densas de asfalto primero se determina la gravedad específica Bulk por el método mencionado anteriormente.

En el caso de mezclas abiertas de asfalto se determina su densidad en función de su masa y volumen medido en gramos sobre centímetro cúbico.

Se procede a medir la geometría de las muestras de prueba obteniendo su altura y diámetro resultado de promediar estos datos en diferentes puntos de las muestras, a continuación, se determina el volumen.

Se necesita el dato de peso específico para lo cual se divide la densidad para 0.99707 g/cm<sup>3</sup> que representa la densidad del agua a una temperatura de 25°C.

Se procede a determinar la gravedad específica máxima teórica con el método RICE presentado anteriormente.

### **3.6.5. CÁLCULOS**

Para determinar el porcentaje de vacíos de aire de una mezcla asfáltica compactada se utilizan las siguientes fórmulas:

#### **Ecuación 3-5. Porcentaje de Vacíos de Aire**

$$\text{Porcentaje de vacíos de aire} = 100 \left( 1 - \left( \frac{\text{Densidad Bulk}}{\text{Gravedad específica máxima teórica}} \right) \right)$$

Es importante recalcar que, si el porcentaje de vacíos de aire supera el 10%, se debe analizar nuevamente siguiendo el procedimiento para una mezcla asfáltica abierta.

## CAPÍTULO IV

### 4. CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. CÁLCULOS

##### 4.1.1. PÉNDULO DE FRICCIÓN

$VRD$  = Valor de resistencia al deslizamiento

$C_i$  = Lectura de coeficientes de fricción.

Rangos aceptables: revisar anexos 1, 2 & 3.

##### 4.1.1.1. Punto 1

**Tabla 4-1. Péndulo de Fricción. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor**

Abscisa	Punto	Temp agua [°C]	Lectura del péndulo					Coef. corregido	VRD
			c1	c2	c3	c4	C prom		
									0,81
0+500	1	30,0	80,0	80,0	80,0	80,0	0,80	0,81	
									0,77
0+500	1	29,0	80,0	75,0	75,0	75,0	0,76	0,77	
									0,75
0+500	1	28,0	75,0	75,0	75,0	75,0	0,75	0,75	

**Tabla 4-2. Péndulo de Fricción. Punto 1 - 150 cc/m2 de producto**

Abscisa	Punto	Temp agua [°C]	Lectura del péndulo					Coef. corregido	VRD
			c1	c2	c3	c4	C prom		
									0,76
0+500	1	31,0	75,0	75,0	75,0	75,0	0,75	0,76	
									0,69
0+500	1	29,0	70,0	65,0	70,0	70,0	0,69	0,69	
									0,65
0+500	1	28,0	65,0	65,0	65,0	65,0	0,65	0,65	
									0,61
0+500	1	27,0	65,0	60,0	60,0	60,0	0,61	0,61	

**Tabla 4-3. Péndulo de Fricción. Punto 1 - 246 cc/m2 de producto**

Abscisa	Punto	Temp. agua [°C]	Lectura del péndulo					Coef. Corregido	VRD
			c1	c2	c3	c4	C prom		
									0,65
0+500	1	30,0	65,0	64,0	65,0	65,0	0,65	0,65	
									0,65
0+500	1	29,0	65,0	64,0	64,0	65,0	0,65	0,65	
									0,65
0+500	1	28,0	64,0	65,0	65,0	64,0	0,65	0,65	
									0,65
0+500	1	26,0	65,0	65,0	64,0	64,0	0,65	0,65	

**4.1.1.2. Punto 2**

**Tabla 4-4. Péndulo de Fricción. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor**

Abscisa	Punto	Temp. agua [°C]	Lectura del péndulo					Coef. corregido	VRD
			c1	c2	c3	c4	C prom		
									0,96
1+500	2	30,0	95,0	95,0	95,0	95,0	0,95	0,96	
									0,90
1+500	2	28,0	90,0	90,0	90,0	90,0	0,90	0,90	
									0,90
1+500	2	26,0	90,0	90,0	90,0	90,0	0,90	0,90	
									0,90
1+500	2	25,0	90,0	90,0	90,0	90,0	0,90	0,90	

**Tabla 4-5. Péndulo de Fricción. Punto 2 - 150 cc/m2 de producto**

Abscisa	Punto	Temp agua [°C]	Lectura del péndulo					Coef. corregido	VRD
			c1	c2	c3	c4	C prom		
									0,76
1+500	2	32,0	75,0	75,0	75,0	75,0	0,75	0,76	
									0,76
1+500	2	31,0	75,0	75,0	75,0	75,0	0,75	0,76	
									0,76
1+500	2	30,0	75,0	75,0	75,0	75,0	0,75	0,76	

**Tabla 4-6. Péndulo de Fricción. Punto 2 - 246 cc/m2 de producto**

Abscisa	Punto	Temp agua [°C]	Lectura del péndulo					Coef. corregido	VRD
			c1	c2	c3	c4	C prom		
									0,91
1+500	2	32,0	90,0	90,0	90,0	90,0	0,90	0,91	
									0,89
1+500	2	30,0	90,0	85,0	90,0	90,0	0,89	0,89	
									0,89
1+500	2	29,0	90,0	85,0	90,0	90,0	0,89	0,89	
									0,90
1+500	2	28,0	90,0	90,0	90,0	90,0	0,90	0,90	

#### 4.1.1.3. Punto 3

**Tabla 4-7. Péndulo de Fricción. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor**

Abscisa	Punto	Temp agua [°C]	Lectura del péndulo					Coef. corregido	VRD
			c1	c2	c3	c4	C prom		
									0,81
3+000	3	34,0	80,0	80,0	80,0	80,0	0,80	0,81	
									0,79
3+000	3	30,0	80,0	80,0	75,0	80,0	0,79	0,79	
									0,75
3+000	3	29,0	75,0	75,0	75,0	75,0	0,75	0,75	

**Tabla 4-8. Péndulo de Fricción. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto**

Abscisa	Punto	Temp agua [°C]	Lectura del péndulo					Coef. corregido	VRD
			c1	c2	c3	c4	C prom		
									0,70
3+000	3	26,0	70,0	70,0	70,0	70,0	0,70	0,70	
									0,70
3+000	3	25,0	70,0	70,0	70,0	70,0	0,70	0,70	
									0,70
3+000	3	24,0	70,0	70,0	70,0	70,0	0,70	0,70	

**Tabla 4-9. Péndulo de Fricción. Punto 3 - 246 cc/m2 de producto**

Abscisa	Punto	Temp agua [°C]	Lectura del péndulo					Coef. corregido	VRD
			c1	c2	c3	c4	C prom		
									0,64
3+000	3	32,0	65,0	60,0	65,0	65,0	0,64	0,64	
									0,61
3+000	3	31,0	60,0	60,0	60,0	60,0	0,60	0,61	
									0,61
3+000	3	30,0	60,0	60,0	60,0	60,0	0,60	0,61	

#### 4.1.2. GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK

##### 4.1.2.1. Punto 1

**Tabla 4-10. Gravedad Específica Bulk. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor - B5**

Información general del ensayo:	
Identificación de la muestra	P1-Sin Rejuvenecedor-5
Temperatura del agua, °C	25,0
Tipo de mezcla	Densa
Altura promedio, mm	53,84
Diámetro promedio, mm	100,39

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	933,63
Masa en agua (C), g	517,05
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	935,93
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,229</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2222</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,55</b>

**Tabla 4-11. Gravedad Específica Bulk. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor - B6**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P1-Sin Rejuvenecedor-6
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	53,31
<b>Diámetro promedio, mm</b>	100,79

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	903,54
Masa en agua (C), g	494,32
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	908,33
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,182</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2176</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>1,16</b>

**Tabla 4-12. Gravedad Específica Bulk. Punto 1 - 150 cc/m<sup>2</sup> de producto - B3**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P1-150-3
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	60,25
<b>Diámetro promedio, mm</b>	101,00

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	1039,18
Masa en agua (C), g	573,75
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1040,67
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,226</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2219</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,32</b>

**Tabla 4-13. Gravedad Específica Bulk. Punto 1 - 150 cc/m<sup>2</sup> de producto - B4**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P1-150-4
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	57,40
<b>Diámetro promedio, mm</b>	101,18

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	984,82
Masa en agua (C), g	542,32
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	987,18
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,214</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2207</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,53</b>

**Tabla 4-14. Gravedad Específica Bulk. Punto 1 - 246 cc/m<sup>2</sup> de producto - 1**

<b>Información general del ensayo</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P1-246-1
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	63,60
<b>Diámetro promedio, mm</b>	101,21

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	1107,99
Masa en agua (C), g	615,64
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1112,00
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,232</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2226</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,81</b>

**Tabla 4-15. Gravedad Específica Bulk. Punto 1 - 246 cc/m<sup>2</sup> de producto - B2**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P1-246-2
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	62,72
<b>Diámetro promedio, mm</b>	101,20

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	1098,43
Masa en agua (C), g	610,06
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1100,00
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,242</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2235</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,32</b>

#### 4.1.2.2. Punto 2

**Tabla 4-16. Gravedad Específica Bulk. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor - B11**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P2-Sin Rejuvenecedor-11
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	43,79
<b>Diámetro promedio, mm</b>	100,97

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	767,41
Masa en agua (C), g	428,30
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	768,20
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,258</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2251</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,23</b>

**Tabla 4-17. Gravedad Específica Bulk. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor - B12**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P2-Sin Rejuvenecedor-12
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	48,96
<b>Diámetro promedio, mm</b>	101,06

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	830,22
Masa en agua (C), g	459,78
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	834,73
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,214</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2208</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>1,20</b>

**Tabla 4-18. Gravedad Específica Bulk. Punto 2 - 150 cc/m2 de producto - B9**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P2-150-9
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	50,19
<b>Diámetro promedio, mm</b>	101,20

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	873,68
Masa en agua (C), g	488,10
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	876,79
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,248</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2241</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,80</b>

**Tabla 4-19. Gravedad Específica Bulk. Punto 2 - 150 cc/m2 de producto - B10**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P2-150-10
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	52,21
<b>Diámetro promedio, mm</b>	99,60

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	894,98
Masa en agua (C), g	493,23
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	898,12
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,210</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2204</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,78</b>

**Tabla 4-20. Gravedad Específica Bulk. Punto 2 - 246 cc/m2 de producto - B7**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P2-246-7
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	62,69
<b>Diámetro promedio, mm</b>	101,35

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	1118,16
Masa en agua (C), g	624,70
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1119,17
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,261</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2255</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,20</b>

**Tabla 4-21. Gravedad Específica Bulk. Punto 2 - 246 cc/m2 de producto - B8**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P2-246-8
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	50,49
<b>Diámetro promedio, mm</b>	101,40

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	904,00
Masa en agua (C), g	507,94
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	904,33
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,281</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2274</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,08</b>

#### 4.1.2.3. Punto 3

**Tabla 4-22. Gravedad Específica Bulk. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor - B17**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P3-Sin Rejuvenecedor-17
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	40,47
<b>Diámetro promedio, mm</b>	100,57

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	725,25
Masa en agua (C), g	409,31
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	725,49
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,294</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2287</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,08</b>

**Tabla 4-23. Gravedad Específica Bulk. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor - B18**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P3-Sin Rejuvenecedor-18
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	47,73
<b>Diámetro promedio, mm</b>	100,75

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	852,08
Masa en agua (C), g	476,03
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	852,75
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,262</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2255</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,18</b>

**Tabla 4-24. Gravedad Específica Bulk. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto - B15**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P3-150-15
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	38,54
<b>Diámetro promedio, mm</b>	101,31

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	694,25
Masa en agua (C), g	391,15
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	695,59
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,280</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2274</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,44</b>

**Tabla 4-25. Gravedad Específica Bulk. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto - B16**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P3-150-16
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	40,51
<b>Diámetro promedio, mm</b>	100,76

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	730,71
Masa en agua (C), g	412,60
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	730,94
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,295</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2288</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,07</b>

**Tabla 4-26. Gravedad Específica Bulk. Punto 3 - 246 cc/m2 de producto - B13**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P3-246-13
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	54,79
<b>Diámetro promedio, mm</b>	101,25

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	987,13
Masa en agua (C), g	555,56
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	987,98
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,283</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2276</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,20</b>

**Tabla 4-27. Gravedad Específica Bulk. Punto 3 - 246 cc/m2 de producto - B14**

<b>Información general del ensayo:</b>	
<b>Identificación de la muestra</b>	P3-246-14
<b>Temperatura del agua, °C</b>	25,0
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa
<b>Altura promedio, mm</b>	61,97
<b>Diámetro promedio, mm</b>	101,48

<b>Resultados del ensayo:</b>	
Masa seca en aire (A), g	1114,57
Masa en agua (C), g	627,08
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1115,31
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	<b>2,283</b>
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2276</b>
<b>Porcentaje de agua absorbida por volumen, %</b>	<b>0,15</b>

### 4.1.3. ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL

#### 4.1.3.1. Punto 1

Tabla 4-28. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor - B5 & B6

<b>Información general del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P1-5-SN	P1-6-SN
<b>Tipo de muestra</b>	Briqueta	Briqueta
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa	Densa
<b>Grado de ligante</b>	AC-20	AC-20
<b>Contenido de ligante, % total mezcla</b>	6,09	6,09

<b>Resultados del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P1-5-SN	P1-6-SN
<b>Gravedad específica Bulk</b>	2,229	2,182
<b>Gravedad específica Bulk promedio</b>	2,206	
<b>Altura promedio, mm</b>	53,84	53,31
<b>Factor de corrección</b>	1,38	1,40
<b>Estabilidad medida, lbf</b>	2500	1960
<b>Estabilidad corregida, lbf</b>	3447	2753
<b>Estabilidad promedio, lbf</b>	3100	
<b>Flujo, 0.01 in</b>	17,5	16,1
<b>Flujo promedio, 0.01 in</b>	17	
<b>Método para determinar flujo</b>	tangente paralela	tangente paralela
<b>Temperatura de ensayo, °C</b>	60,0	60,0

Tabla 4-29. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 1 - 150 cc/m<sup>2</sup> de producto - B3 & B4

<b>Información general del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P1-3-150	P1-4-150
<b>Tipo de muestra</b>	Briqueta	Briqueta
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa	Densa
<b>Grado de ligante</b>	AC-20	AC-20
<b>Contenido de ligante, % total mezcla</b>	6,54	6,54

<b>Resultados del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P1-3-150	P1-4-150

<b>Gravedad específica Bulk</b>	2,226	2,214
<b>Gravedad específica Bulk promedio</b>	2,220	
<b>Altura promedio, mm</b>	60,25	57,4
<b>Factor de corrección</b>	1,11	1,22
<b>Estabilidad medida, lbf</b>	3000	2390
<b>Estabilidad corregida, lbf</b>	3344	2920
<b>Estabilidad promedio, lbf</b>	3132	
<b>Flujo, 0.01 in</b>	18,2	17,1
<b>Flujo promedio, 0.01 in</b>	18	
<b>Método para determinar flujo</b>	tangente paralela	tangente paralela
<b>Temperatura de ensayo, °C</b>	60,0	60,0

**Tabla 4-30. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 1 - 246 cc/m<sup>2</sup> de producto - B1 & B2**

<b>Información general del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P1-1-246	P1-2-246
<b>Tipo de muestra</b>	Briqueta	Briqueta
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa	Densa
<b>Grado de ligante</b>	AC-20	AC-20
<b>Contenido de ligante, % total mezcla</b>	6,1	6,1

<b>Resultados del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P1-1-246	P1-2-246
<b>Gravedad específica Bulk</b>	2,232	2,242
<b>Gravedad específica Bulk promedio</b>	2,237	
<b>Altura promedio, mm</b>	63,6	62,72
<b>Factor de corrección</b>	1,01	1,03
<b>Estabilidad medida, lbf</b>	3250	3240
<b>Estabilidad corregida, lbf</b>	3271	3348
<b>Estabilidad promedio, lbf</b>	3309	
<b>Flujo, 0.01 in</b>	22	17,5
<b>Flujo promedio, 0.01 in</b>	20	
<b>Método para determinar flujo</b>	tangente paralela	tangente paralela
<b>Temperatura de ensayo, °C</b>	60,0	60,0

#### 4.1.3.2. Punto 2

**Tabla 4-31. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor - B11 & B12**

<b>Información general del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P2-11-SN	P2-12-SN
<b>Tipo de muestra</b>	Briqueta	Briqueta
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa	Densa
<b>Grado de ligante</b>	AC-20	AC-20
<b>Contenido de ligante, % total mezcla</b>	6,14	6,14

<b>Resultados del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P2-11-SN	P2-12-SN
<b>Gravedad específica Bulk</b>	2,258	2,214
<b>Gravedad específica Bulk promedio</b>	2,236	
<b>Altura promedio, mm</b>	43,79	48,96
<b>Factor de corrección</b>	2,04	1,65
<b>Estabilidad medida, lbf</b>	1700	1680
<b>Estabilidad corregida, lbf</b>	3464	2772
<b>Estabilidad promedio, lbf</b>	3118	
<b>Flujo, 0.01 in</b>	16,4	16,3
<b>Flujo promedio, 0.01 in</b>	16	
<b>Método para determinar flujo</b>	tangente paralela	tangente paralela
<b>Temperatura de ensayo, °C</b>	60,0	60,0

#### Briqueta 9&10-150 cc/m<sup>2</sup> de producto

**Tabla 4-32. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 2 - 150 cc/m<sup>2</sup> de producto - B9 & B10**

<b>Información general del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P2-9-150	P2-10-150
<b>Tipo de muestra</b>	Briqueta	Briqueta
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa	Densa
<b>Grado de ligante</b>	AC-20	AC-20
<b>Contenido de ligante, % total mezcla</b>	6,26	6,26

<b>Resultados del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P2-9-150	P2-10-150

<b>Gravedad específica Bulk</b>	2,248	2,21
<b>Gravedad específica Bulk promedio</b>	2,229	
<b>Altura promedio, mm</b>	50,19	52,21
<b>Factor de corrección</b>	1,57	1,46
<b>Estabilidad medida, lbf</b>	2000	1900
<b>Estabilidad corregida, lbf</b>	3149	2776
<b>Estabilidad promedio, lbf</b>	2963	
<b>Flujo, 0.01 in</b>	16,6	16
<b>Flujo promedio, 0.01 in</b>	16	
<b>Método para determinar flujo</b>	tangente paralela	tangente paralela
<b>Temperatura de ensayo, °C</b>	60,0	60,0

**Tabla 4-33. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 2 - 246 cc/m<sup>2</sup> de producto - B7 & B8**

<b>Información general del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P2-7-246	P2-8-246
<b>Tipo de muestra</b>	Briqueta	Briqueta
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa	Densa
<b>Grado de ligante</b>	AC-20	AC-20
<b>Contenido de ligante, % total mezcla</b>	6,37	6,37

<b>Resultados del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P2-7-246	P2-8-246
<b>Gravedad específica Bulk</b>	2,261	2,281
<b>Gravedad específica Bulk promedio</b>	2,271	
<b>Altura promedio, mm</b>	62,69	50,49
<b>Factor de corrección</b>	1,03	1,56
<b>Estabilidad medida, lbf</b>	3220	2400
<b>Estabilidad corregida, lbf</b>	3330	3736
<b>Estabilidad promedio, lbf</b>	3533	
<b>Flujo, 0.01 in</b>	18	17,5
<b>Flujo promedio, 0.01 in</b>	18	
<b>Método para determinar flujo</b>	tangente paralela	tangente paralela
<b>Temperatura de ensayo, °C</b>	60,0	60,0

#### 4.1.3.3. Punto 3

**Tabla 4-34. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor - B17 & B18**

<b>Información general del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P3-17-SN	P3-18-SN
<b>Tipo de muestra</b>	Briqueta	Briqueta
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa	Densa
<b>Grado de ligante</b>	AC-20	AC-20
<b>Contenido de ligante, % total mezcla</b>	6,37	6,37

<b>Resultados del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P3-17-SN	P3-18-SN
<b>Gravedad específica Bulk</b>	2,294	2,262
<b>Gravedad específica Bulk promedio</b>	2,278	
<b>Altura promedio, mm</b>	40,47	47,73
<b>Factor de corrección</b>	2,36	1,73
<b>Estabilidad medida, lbf</b>	1930	2390
<b>Estabilidad corregida, lbf</b>	4564	4138
<b>Estabilidad promedio, lbf</b>	4351	
<b>Flujo, 0.01 in</b>	16,6	17
<b>Flujo promedio, 0.01 in</b>	17	
<b>Método para determinar flujo</b>	tangente paralela	tangente paralela
<b>Temperatura de ensayo, °C</b>	60,0	60,0

**Tabla 4-35. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto - B15 & B16**

<b>Información general del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P3-15-150	P3-16-150
<b>Tipo de muestra</b>	Briqueta	Briqueta
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa	Densa
<b>Grado de ligante</b>	AC-20	AC-20
<b>Contenido de ligante, % total mezcla</b>	6,41	6,41

<b>Resultados del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P3-15-150	P3-16-150
<b>Gravedad específica Bulk</b>	2,28	2,295

<b>Gravedad específica Bulk promedio</b>	2,288	
<b>Altura promedio, mm</b>	38,54	40,51
<b>Factor de corrección</b>	2,59	2,36
<b>Estabilidad medida, lbf</b>	1800	1940
<b>Estabilidad corregida, lbf</b>	4669	4579
<b>Estabilidad promedio, lbf</b>	4624	
<b>Flujo, 0.01 in</b>	15,5	16,7
<b>Flujo promedio, 0.01 in</b>	16	
<b>Método para determinar flujo</b>	tangente paralela	tangente paralela
<b>Temperatura de ensayo, °C</b>	60,0	60,0

**Tabla 4-36. Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 3 - 246 cc/m<sup>2</sup> de producto - B13 & B14**

<b>Información general del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P3-13-246	P3-14-246
<b>Tipo de muestra</b>	Briqueta	Briqueta
<b>Tipo de mezcla</b>	Densa	Densa
<b>Grado de ligante</b>	AC-20	AC-20
<b>Contenido de ligante, % total mezcla</b>	5,88	5,88

<b>Resultados del ensayo:</b>		
<b>Identificación de la muestra</b>	P3-13-246	P3-14-246
<b>Gravedad específica Bulk</b>	2,283	2,283
<b>Gravedad específica Bulk promedio</b>	2,283	
<b>Altura promedio, mm</b>	54,79	61,97
<b>Factor de corrección</b>	1,33	1,06
<b>Estabilidad medida, lbf</b>	2780	3570
<b>Estabilidad corregida, lbf</b>	3708	3773
<b>Estabilidad promedio, lbf</b>	3741	
<b>Flujo, 0.01 in</b>	20,6	20,6
<b>Flujo promedio, 0.01 in</b>	21	
<b>Método para determinar flujo</b>	tangente paralela	tangente paralela
<b>Temperatura de ensayo, °C</b>	60,0	60,0

#### 4.1.4. RICE

##### 4.1.4.1. Punto 1

**Tabla 4-37. RICE. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P1-Sin Rejuvenecedor
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

<b>Registros de la muestra:</b>	
Masa de muestra seca en aire (A), g	2224,7
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8735,5
Procedimiento suplementario	SI

<b>Registros del procedimiento suplementario:</b>	
Masa de la bandeja, g	847
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3186,5

<b>Ciclo</b>	<b>Masa, g</b>	<b>Diferencia, %</b>
1	3159,1	0,86
2	3139,2	0,63
3	3123,9	0,49
4	3113,3	0,34
5	3105,1	0,26
6	3093,4	0,38
7	3088,1	0,17
8	3084,9	0,10
9	3078,9	0,19
10	3075,9	0,10
11	3074,7	0,04

*superficie seca*

<b>Masa de la muestra con superficie seca (A), g</b>	<b>2227,7</b>
--	---------------

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2,458</b>
---	--------------

**Tabla 4-38. RICE. Punto 1 - 150 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P1-150
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

<b>Registros de la muestra:</b>	
Masa de muestra seca en aire (A), g	2274,1
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8762,1
Procedimiento suplementario	SI

<b>Registros del procedimiento suplementario:</b>	
Masa de la bandeja, g	876,1
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3237,4

<b>Ciclo</b>	<b>Masa, g</b>	<b>Diferencia, %</b>
1	3214,4	0,71
2	3193,0	0,67
3	3178,1	0,47
4	3165,0	0,41
5	3159,7	0,17
6	3158,1	0,05
7	3154,9	0,10
8	3154,2	0,02

*superficie seca*

<b>Masa de la muestra con superficie seca (A), g</b>	<b>2278,1</b>
--	---------------

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2,448</b>
---	--------------

**Tabla 4-39. RICE. Punto 1 - 246 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P1-246
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

<b>Registros de la muestra:</b>	
Masa de muestra seca en aire (A), g	2245,2
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8747,8
Procedimiento suplementario	SI

<b>Registros del procedimiento suplementario:</b>	
Masa de la bandeja, g	870,8
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3200,1

<b>Ciclo</b>	<b>Masa, g</b>	<b>Diferencia, %</b>
1	3173,2	0,84
2	3153,9	0,61
3	3134,0	0,63
4	3124,6	0,30
5	3121,6	0,10
6	3120,8	0,03

*superficie seca*

<b>Masa de la muestra con superficie seca (A), g</b>	<b>2250</b>
--	-------------

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2,453</b>
---	--------------

#### 4.1.4.2. Punto 2

**Tabla 4-40. RICE. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P2-Sin Rejuvenecedor
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

<b>Registros de la muestra:</b>	
Masa de muestra seca en aire (A), g	2259,0
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8759,5
Procedimiento suplementario	SI

<b>Registros del procedimiento suplementario:</b>	
Masa de la bandeja, g	857,1
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3244

<b>Ciclo</b>	<b>Masa, g</b>	<b>Diferencia, %</b>
1	3205,8	1,18
2	3183,0	0,71
3	3162,9	0,63
4	3145,9	0,54
5	3130,5	0,49
6	3128,6	0,06
7	3123,8	0,15
8	3121,9	0,06
9	3121,5	0,01

*superficie seca*

<b>Masa de la muestra con superficie seca (A), g</b>	<b>2264,4</b>
--	---------------

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2,461</b>
---	--------------

**Tabla 4-41. RICE. Punto 2 - 150 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P2-150
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

<b>Registros de la muestra:</b>	
Masa de muestra seca en aire (A), g	2252,4
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8753,5
Procedimiento suplementario	SI

<b>Registros del procedimiento suplementario:</b>	
Masa de la bandeja, g	870,9
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3211,9

<b>Ciclo</b>	<b>Masa, g</b>	<b>Diferencia, %</b>
1	3183,5	0,88
2	3164,2	0,61
3	3148,8	0,49
4	3140,3	0,27
5	3134,8	0,18
6	3131,1	0,12
7	3129,5	0,05
8	3129,3	0,01

*superficie seca*

<b>Masa de la muestra con superficie seca (A), g</b>	<b>2258,4</b>
--	---------------

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2,454</b>
---	--------------

**Tabla 4-42. RICE. Punto 2 - 246 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P2-246
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

<b>Registros de la muestra:</b>	
Masa de muestra seca en aire (A), g	2280,4
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8769,5
Procedimiento suplementario	SI

<b>Registros del procedimiento suplementario:</b>	
Masa de la bandeja, g	874,1
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3243,7

<b>Ciclo</b>	<b>Masa, g</b>	<b>Diferencia, %</b>
1	3223,8	0,61
2	3208,3	0,48
3	3198,2	0,31
4	3185,5	0,40
5	3173,5	0,38
6	3165,6	0,25
7	3160,2	0,17
8	3158,6	0,05
9	3158,5	0,00

*superficie seca*

<b>Masa de la muestra con superficie seca (A), g</b>	<b>2284,4</b>
--	---------------

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2,458</b>
---	--------------

#### 4.1.4.3. Punto 3

**Tabla 4-43. RICE. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P3-Sin Rejuvenecedor
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

<b>Registros de la muestra:</b>	
Masa de muestra seca en aire (A), g	2225,6
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8734,6
Procedimiento suplementario	SI

<b>Registros del procedimiento suplementario:</b>	
Masa de la bandeja, g	865,9
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3227,3

<b>Ciclo</b>	<b>Masa, g</b>	<b>Diferencia, %</b>
1	3153,4	2,29
2	3128,6	0,79
3	3114,1	0,46
4	3104,1	0,32
5	3097,0	0,23
6	3094,9	0,07
7	3094,4	0,02

*superficie seca*

<b>Masa de la muestra con superficie seca (A), g</b>	<b>2228,5</b>
--	---------------

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2,454</b>
---	--------------

**Tabla 4-44. RICE. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P3-150
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

<b>Registros de la muestra:</b>	
Masa de muestra seca en aire (A), g	2153,9
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8692,3
Procedimiento suplementario	SI

<b>Registros del procedimiento suplementario:</b>	
Masa de la bandeja, g	880,9
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3125

<b>Ciclo</b>	<b>Masa, g</b>	<b>Diferencia, %</b>
1	3119,8	0,17
2	3101,6	0,58
3	3087,0	0,47
4	3075,5	0,37
5	3055,6	0,65
6	3044,0	0,38
7	3039,1	0,16
8	3036,9	0,07
9	3036,5	0,01

*superficie seca*

<b>Masa de la muestra con superficie seca (A), g</b>	<b>2155,6</b>
--	---------------

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2,458</b>
---	--------------

**Tabla 4-45. RICE. Punto 3 - 246 cc/m<sup>2</sup> de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P3-246
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

<b>Registros de la muestra:</b>	
Masa de muestra seca en aire (A), g	2235,0
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8747
Procedimiento suplementario	SI

<b>Registros del procedimiento suplementario:</b>	
Masa de la bandeja, g	861,1
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3190,5

<b>Ciclo</b>	<b>Masa, g</b>	<b>Diferencia, %</b>
1	3164,0	0,83
2	3148,5	0,49
3	3135,9	0,40
4	3124,8	0,35
5	3113,3	0,37
6	3107,0	0,20
7	3105,0	0,06
8	3104,4	0,02

*superficie seca*

<b>Masa de la muestra con superficie seca (A), g</b>	<b>2243,3</b>
--	---------------

<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	<b>2,458</b>
---	--------------

#### 4.1.5. PORCENTAJE DE ASFALTO

##### 4.1.5.1. Punto 1

**Tabla 4-46. Porcentaje de Asfalto. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P1 Sin Rejuvenecedor
<b>Datos del ensayo en muestra seca, método A:</b>	
Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), g	3387,15
Masa total inicial (balanza externa), g	5250,68
Masa inicial de la muestra, g	1863,53
Masa total (balanza horno), g	5254,90
masa total final (balanza externa), g	5137,26
Masa final de la muestra, g	1750,11
<b>Contenido mineral del extracto:</b>	
Porcentaje de pérdida (valor del ticket)	<b>6,09</b>

**Tabla 4-47. Porcentaje de Asfalto. Punto 1 - 150 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P1-150
<b>Datos del ensayo en muestra seca, método A:</b>	
Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), g	3396,21
Masa total inicial (balanza externa), g	5286,25
Masa inicial de la muestra, g	1890,04
Masa total (balanza horno), g	5291,10
masa total final (balanza externa), g	5162,70
Masa final de la muestra, g	1766,49
<b>Contenido mineral del extracto:</b>	
Porcentaje de pérdida (valor del ticket)	<b>6,54</b>

**Tabla 4-48. Porcentaje de Asfalto. Punto 1 - 246 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P1-246
<b>Datos del ensayo en muestra seca, método A:</b>	
Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), g	3385,06
Masa total inicial (balanza externa), g	5279,99
Masa inicial de la muestra, g	1894,93
Masa total (balanza horno), g	5284,00
masa total final (balanza externa), g	5164,48
Masa final de la muestra, g	1779,42
<b>Contenido mineral del extracto:</b>	
Porcentaje de pérdida (valor del ticket)	<b>6,10</b>

**4.1.5.2. Punto 2**

**Tabla 4-49. Porcentaje de Asfalto. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P2-SN
<b>Datos del ensayo en muestra seca, método A:</b>	
Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), g	3383,21
Masa total inicial (balanza externa), g	5240,19
Masa inicial de la muestra, g	1856,98
Masa total (balanza horno), g	5244,40
masa total final (balanza externa), g	5126,09
Masa final de la muestra, g	1742,88
<b>Contenido mineral del extracto:</b>	
Porcentaje de pérdida (valor del ticket)	<b>6,14</b>

**Tabla 4-50. Porcentaje de Asfalto. Punto 2 - 150 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P2-150
<b>Datos del ensayo en muestra seca, método A:</b>	
Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), g	3386,06
Masa total inicial (balanza externa), g	5267,38
Masa inicial de la muestra, g	1881,32
Masa total (balanza horno), g	5271,20
masa total final (balanza externa), g	5149,57
Masa final de la muestra, g	1763,51
<b>Contenido mineral del extracto:</b>	
Porcentaje de pérdida (valor del ticket)	<b>6,26</b>

**Tabla 4-51. Porcentaje de Asfalto. Punto 2 - 246 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P2-246
<b>Datos del ensayo en muestra seca, método A:</b>	
Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), g	3390,50
Masa total inicial (balanza externa), g	5282,02
Masa inicial de la muestra, g	1891,52
Masa total (balanza horno), g	5287,00
masa total final (balanza externa), g	5161,50
Masa final de la muestra, g	1771,00
<b>Contenido mineral del extracto:</b>	
Porcentaje de pérdida (valor del ticket)	<b>6,37</b>

#### 4.1.5.3. Punto 3

**Tabla 4-52. Porcentaje de Asfalto. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P3-SN
<b>Datos del ensayo en muestra seca, método A:</b>	
Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), g	3395,60
Masa total inicial (balanza externa), g	5256,55
Masa inicial de la muestra, g	1860,95
Masa total (balanza horno), g	5262,10
masa total final (balanza externa), g	5137,93
Masa final de la muestra, g	1742,33
<b>Contenido mineral del extracto:</b>	
Porcentaje de pérdida (valor del ticket)	<b>6,37</b>

**Tabla 4-53. Porcentaje de Asfalto. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P3-150
<b>Datos del ensayo en muestra seca, método A:</b>	
Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), g	3399,49
Masa total inicial (balanza externa), g	5133,12
Masa inicial de la muestra, g	1733,63
Masa total (balanza horno), g	5137,70
masa total final (balanza externa), g	5021,98
Masa final de la muestra, g	1622,49
<b>Contenido mineral del extracto:</b>	
Porcentaje de pérdida (valor del ticket)	<b>6,41</b>

**Tabla 4-54. Porcentaje de Asfalto. Punto 3 - 246 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P3-246
<b>Datos del ensayo en muestra seca, método A:</b>	
Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), g	3401,14
Masa total inicial (balanza externa), g	5222,61
Masa inicial de la muestra, g	1821,47
Masa total (balanza horno), g	5227,00
masa total final (balanza externa), g	5115,53
Masa final de la muestra, g	1714,39
<b>Contenido mineral del extracto:</b>	
Porcentaje de pérdida (valor del ticket)	<b>5,88</b>

#### **4.1.6. PORCENTAJE DE VACÍOS**

##### **4.1.6.1. Punto 1**

**Tabla 4-55. Porcentaje de Vacíos. Punto 1 - Sin Rejuvenecedor**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P1-Sin Rejuvenecedor
<b>Registros de la muestra:</b>	
Gravedad específica Bulk	2,206
Gravedad específica máxima teórica	2,458
<b>Porcentaje de vacíos de aire</b>	<b>10,3</b>

**Tabla 4-56. Porcentaje de Vacíos. Punto 1 - 150 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P1-150

<b>Registros de la muestra:</b>	
Gravedad específica Bulk	2,220
Gravedad específica máxima teórica	2,448
<b>Porcentaje de vacíos de aire</b>	<b>9,3</b>

**Tabla 4-57. Porcentaje de Vacíos. Punto 1 - 246 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P1-246

<b>Registros de la muestra:</b>	
Gravedad específica Bulk	2,237
Gravedad específica máxima teórica	2,453
<b>Porcentaje de vacíos de aire</b>	<b>8,8</b>

**4.1.6.2. Punto 2**

**Tabla 4-58. Porcentaje de Vacíos. Punto 2 - Sin Rejuvenecedor**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P2-Sin Rejuvenecedor

<b>Registros de la muestra:</b>	
Gravedad específica Bulk	2,236
Gravedad específica máxima teórica	2,461
<b>Porcentaje de vacíos de aire</b>	<b>9,1</b>

**Tabla 4-59. Porcentaje de Vacíos. Punto 2 - 150 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P2-150

<b>Registros de la muestra:</b>	
Gravedad específica Bulk	2,229
Gravedad específica máxima teórica	2,454
<b>Porcentaje de vacíos de aire</b>	<b>9,2</b>

**Tabla 4-60. Porcentaje de Vacíos. Punto 2 - 246 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P2-246

<b>Registros de la muestra:</b>	
Gravedad específica Bulk	2,271
Gravedad específica máxima teórica	2,458
<b>Porcentaje de vacíos de aire</b>	<b>7,6</b>

**4.1.6.3. Punto 3**

**Tabla 4-61. Porcentaje de Vacíos. Punto 3 - Sin Rejuvenecedor**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P3-Sin Rejuvenecedor

<b>Registros de la muestra:</b>	
Gravedad específica Bulk	2,278
Gravedad específica máxima teórica	2,454
<b>Porcentaje de vacíos de aire</b>	<b>7,2</b>

**Tabla 4-62. Porcentaje de Vacíos. Punto 3 - 150 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P3-150
<b>Registros de la muestra:</b>	
Gravedad específica Bulk	2,288
Gravedad específica máxima teórica	2,458
<b>Porcentaje de vacíos de aire</b>	<b>6,9</b>

**Tabla 4-63. Porcentaje de Vacíos. Punto 3 - 246 cc/m2 de producto**

<b>Información general del ensayo:</b>	
Identificación de la muestra	P3-246
<b>Registros de la muestra:</b>	
Gravedad específica Bulk	2,283
Gravedad específica máxima teórica	2,458
<b>Porcentaje de vacíos de aire</b>	<b>7,1</b>

## 4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

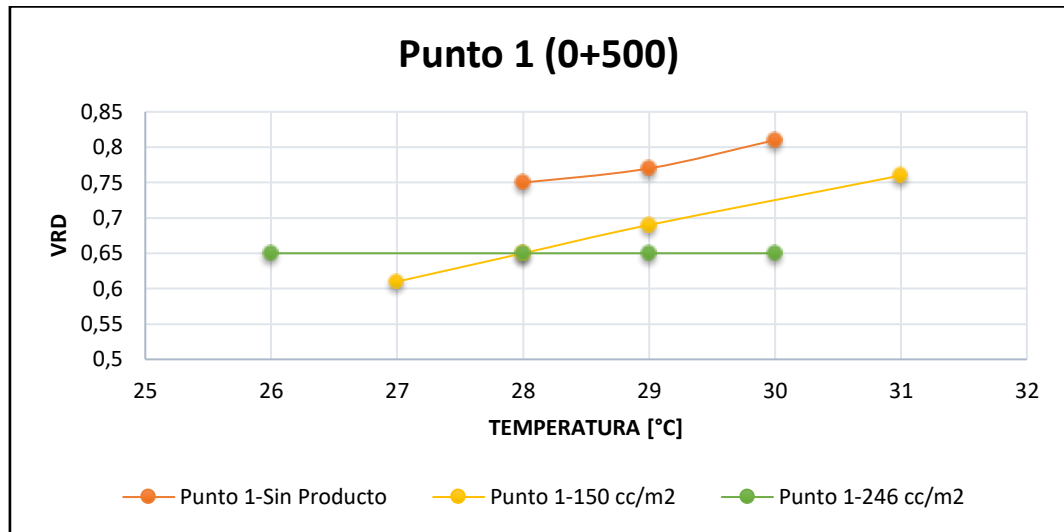
### 4.2.1. PÉNDULO DE FRICCIÓN

#### 4.2.1.1. Punto 1

**Tabla 4-64. Resumen Péndulo de Fricción. Punto 1**

<b>PUNTO 1</b>					
<b>Sin Producto</b>		<b>150 cc/m2 de producto</b>		<b>246 cc/m2 de producto</b>	
<b>°C</b>	<b>VRD</b>	<b>°C</b>	<b>VRD</b>	<b>°C</b>	<b>VRD</b>
30	0,81	31	0,76	30	0,65
29	0,77	29	0,69	29	0,65
28	0,65	28	0,65	28	0,65
		27	0,61	26	0,65

**Gráfico 4-1. Coeficiente de Fricción vs Temperatura-Punto 1**



Al observar los resultados obtenidos por el ensayo del péndulo de fricción en el punto 1 a las diferentes dosificaciones 246 cc/m<sup>2</sup>, 150 cc/m<sup>2</sup> y sin producto podemos analizar lo siguiente:

Para la dosificación de 246 cc/m<sup>2</sup> de producto se puede observar en los cálculos que a pesar que la humedad en el pavimento sigue aumentando (aumentar agua en la carpeta asfáltica) el valor del péndulo se mantiene, esto se da debido a que la diferencia de humedad no fue tan significativa y para ese paño de pavimento no le causo diferencia en la fricción.

Para la dosificación de 150 cc/m<sup>2</sup> se puede observar que conforme se va humedeciendo el pavimento la fricción disminuye siendo un comportamiento lógico ya que cada vez que se coloca agua en el pavimento ésta le hace que se pierda el contacto y la adherencia que se puede tener en el pavimento.

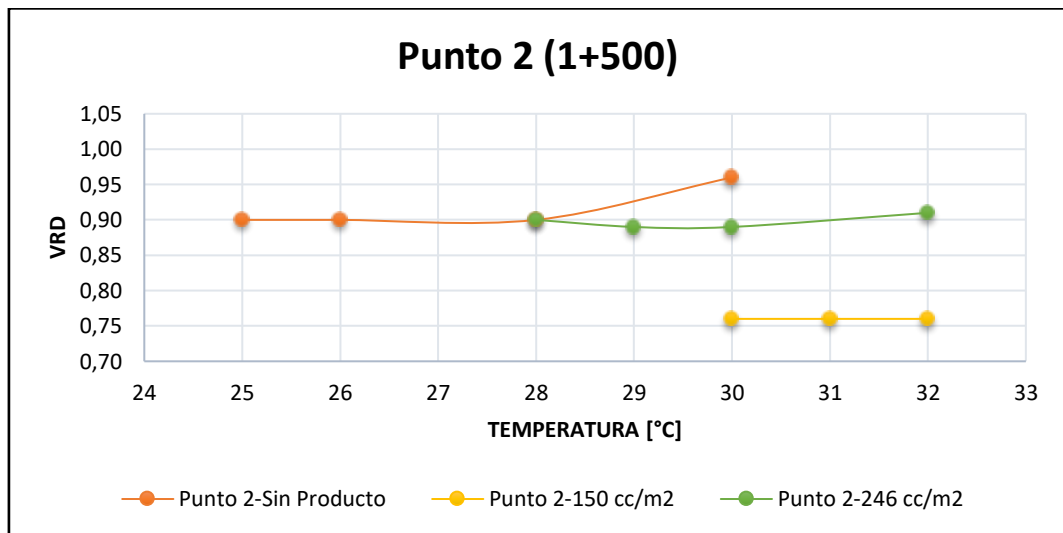
Para el análisis de la fricción en el pavimento sin nada de producto rejuvenecedor podemos observar el mismo fenómeno que en el anterior caso el cual conforme se va humedeciendo el pavimento la fricción disminuye y al ser comparado con los otros dos casos se observa valores mayores de fricción siendo un comportamiento lógico ya que al no tener ningún producto colocado no se crea ninguna película en el pavimento y su rugosidad es mayor.

4.2.1.2. Punto 2

Tabla 4-65. Resumen Péndulo de Fricción. Punto 2

PUNTO 2					
Sin Producto		150 cc/m <sup>2</sup> de producto		246 cc/m <sup>2</sup> de producto	
°C	VRD	°C	VRD	°C	VRD
30	0,96	32	0,76	32	0,91
28	0,90	31	0,76	30	0,89
26	0,90	30	0,76	29	0,89
25	0,90			28	0,90

Gráfico 4-2. Coeficiente de Fricción vs Temperatura-Punto 2



Al observar los resultados obtenidos por el ensayo del péndulo de fricción en el punto 2 a las diferentes dosificaciones 246 cc/m<sup>2</sup>, 150 cc/m<sup>2</sup> y sin producto podemos analizar lo siguiente:

Para las dosificaciones de 246 cc/m<sup>2</sup> y 150 cc/m<sup>2</sup> de producto se puede observar que conforme se va reduciendo la temperatura del pavimento (aumentando agua) los valores de la fricción van reduciendo lo que nos indica que conforme más agua le aumentemos al pavimento menos fricción se tendrá ya que se crea una especie de película de agua sobre el pavimento que hace que se pierda adherencia con la carpeta asfáltica y por ende la fricción se reduzca.

En el caso del pavimento sin producto se puede observar que los valores obtenidos cumplen con la misma lógica mencionada anteriormente que mientras más húmedo está el pavimento su fricción es menor, pero el caso particular que se da aquí es que al no tener producto este

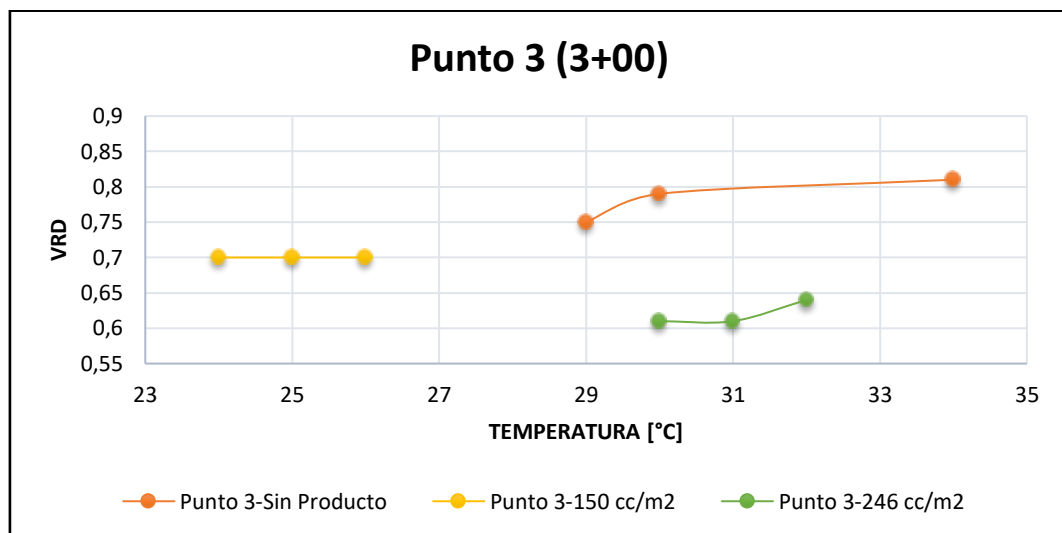
pavimento su rugosidad está al 100% y por ende el valor de la fricción es mayor que el de la fricción colocado producto.

#### 4.2.1.3. Punto 3

Tabla 4-66. Resumen Péndulo de Fricción. Punto 3

PUNTO 3					
Sin Producto		150 cc/m2 de producto		246 cc/m2 de producto	
°C	VRD	°C	VRD	°C	VRD
34	0,81	26	0,70	32	0,64
30	0,79	25	0,70	31	0,61
29	0,75	24	0,70	30	0,61

Gráfico 4-3. Coeficiente de Fricción vs Temperatura-Punto 3



Al observar los resultados obtenidos por el ensayo del péndulo de fricción en el punto 3 a las diferentes dosificaciones de 246 cc/m2, 150 cc/m2 y sin producto podemos analizar lo siguiente:

Para las dosificaciones de 246 cc/m2 y 150 cc/m2 de producto se puede observar que conforme se va reduciendo la temperatura del pavimento (aumentando agua) los valores de la fricción van reduciendo lo que indica un comportamiento correcto y lógico ya que conforme más agua le aumentemos al pavimento menos fricción se tendrá por una especie de película de agua sobre el pavimento que hace que se pierda adherencia con la carpeta asfáltica.

En los resultados obtenidos de las briquetas sin producto se puede observar que los valores obtenidos cumplen con la misma lógica mencionada en los casos anteriores que mientras mayor agua existe en el pavimento su fricción baja, y cuando no se ha colocado producto en el pavimento su rugosidad natural le permite que la fricción sea mayor con respecto a los valores que nos entrega el péndulo de las briquetas con producto.

#### **4.2.2. GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK**

En el presente ensayo se determina la gravedad específica del pavimento en cada punto de análisis de la vía para cada concentración de producto rejuvenecedor, para lo cual se analizan dos muestras por separado de cada concentración y se calcula el promedio de estos resultados para determinar la gravedad específica del pavimento.

Es importante mencionar que no existen límites en cuanto al valor de la gravedad específica que determinen que el pavimento se encuentra en un rango óptimo, sino más bien este análisis es una comparación entre las condiciones iniciales (sin producto) y las condiciones finales (con producto) para determinar en qué manera modifica el tratamiento rejuvenecedor al pavimento existente.

En condiciones iniciales (sin producto) la gravedad específica del pavimento depende únicamente de las propiedades físicas de sus componentes, material granular y asfalto, y a medida que se aplica el producto rejuvenecedor se puede observar que la gravedad específica del pavimento varía, esto se debe a que la gravedad específica del producto es diferente a la del pavimento, llegando a un valor de  $<1.12 @ 25C$  según información del fabricante.

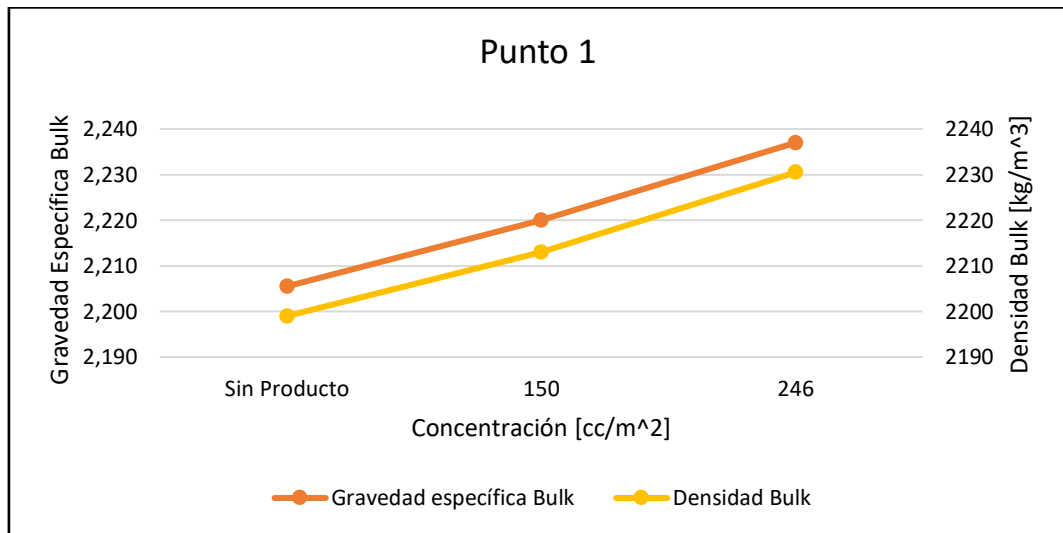
A continuación, se puede observar cómo el producto modifica la gravedad específica del pavimento a medida que varía su concentración, este comportamiento no necesariamente es igual para todos los puntos de la vía analizados debido a la presencia de diferentes paños lo que indica diferentes características físicas y mecánicas del pavimento a lo largo de la vía.

#### 4.2.2.1. Punto 1

Tabla 4-67. Resumen Gravedad Específica Bulk. Punto 1

	PUNTO 1					
	Sin Producto		150 cc/m <sup>2</sup> de producto		246 cc/m <sup>2</sup> de producto	
Gravedad específica Bulk a 25 °C	2,229	2,182	2,226	2,214	2,232	2,242
Densidad a 25 °C, kg/m <sup>3</sup>	2222	2176	2219	2207	2226	2235
Prom. Gravedad específica Bulk a 25 °C	2,206		2,220		2,237	
Prom. Densidad a 25 °C, kg/m <sup>3</sup>	2199		2213		2231	

Gráfico 4-4. Gravedad & Densidad Bulk vs Concentración-Punto 1



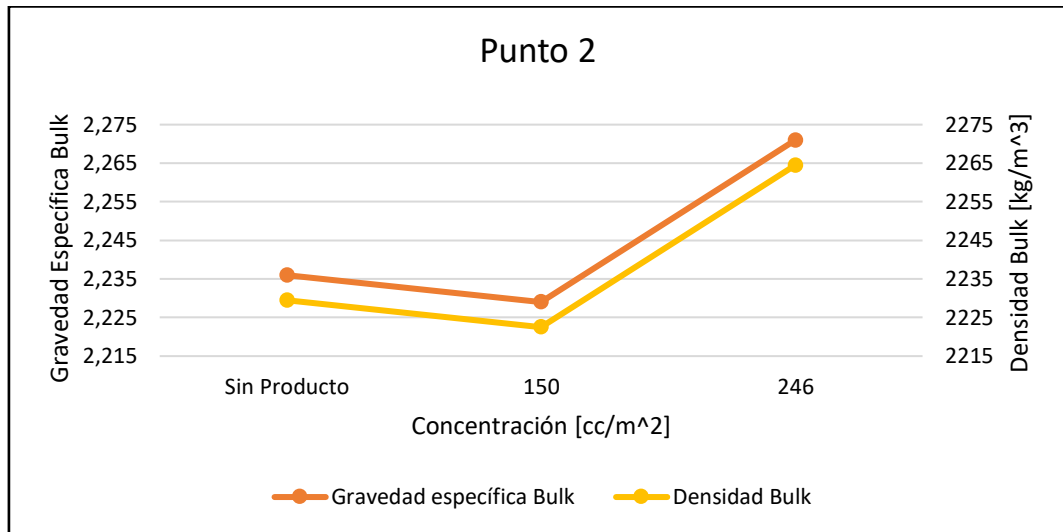
En este primer punto analizado la gravedad específica del pavimento es directamente proporcional a la concentración del producto rejuvenecedor, lo que indica que el producto está ingresando en el pavimento y ocupando los espacios disponibles haciendo que su densidad aumente. Esto se debe a que la gravedad específica del producto rejuvenecedor es mayor a la del pavimento en condiciones iniciales (sin producto).

#### 4.2.2.2. Punto 2

Tabla 4-68. Resumen Gravedad Específica Bulk. Punto 2

	PUNTO 2					
	Sin Producto		150 cc/m <sup>2</sup> de producto		246 cc/m <sup>2</sup> de producto	
Gravedad específica Bulk a 25 °C	2,258	2,214	2,248	2,210	2,261	2,281
Densidad a 25 °C, kg/m <sup>3</sup>	2251	2208	2241	2204	2255	2274
Prom. Gravedad específica Bulk a 25 °C	2,236		2,229		2,271	
Prom. Densidad a 25 °C, kg/m <sup>3</sup>	2230		2223		2265	

**Gráfico 4-5. Gravedad & Densidad Bulk vs Concentración-Punto 2**



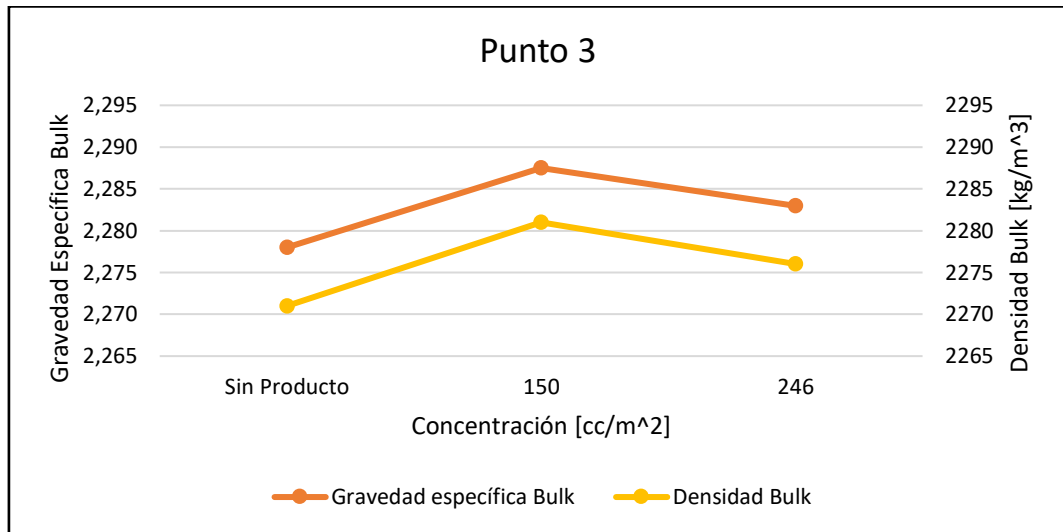
En el segundo punto analizado se puede observar que a una concentración de 150 cc/m<sup>2</sup> de producto/m<sup>2</sup> la gravedad específica ligeramente se mantiene y es necesario aumentar la concentración para que el producto rejuvenecedor pueda ingresar correctamente en el pavimento y brindar sus características benéficas al mismo.

#### 4.2.2.3. Punto 3

**Tabla 4-69. Resumen Gravedad Específica Bulk. Punto 3**

	PUNTO 3					
	Sin Producto		150 cc/m <sup>2</sup> de producto		246 cc/m <sup>2</sup> de producto	
<b>Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	2,294	2,262	2,280	2,295	2,283	2,283
<b>Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	2287	2255	2274	2288	2276	2276
<b>Prom. Gravedad específica Bulk a 25 °C</b>	2,278		2,288		2,283	
<b>Prom. Densidad a 25 °C, kg/m<sup>3</sup></b>	2271		2281		2276	

**Gráfico 4-6. Gravedad & Densidad Bulk vs Concentración-Punto 3**



En el tercer punto analizado se puede observar que no necesariamente a mayor concentración se presenta un aumento de la gravedad específica, sin embargo, el producto aumenta ligeramente la gravedad específica del pavimento, lo que indica que está penetrando en el mismo.

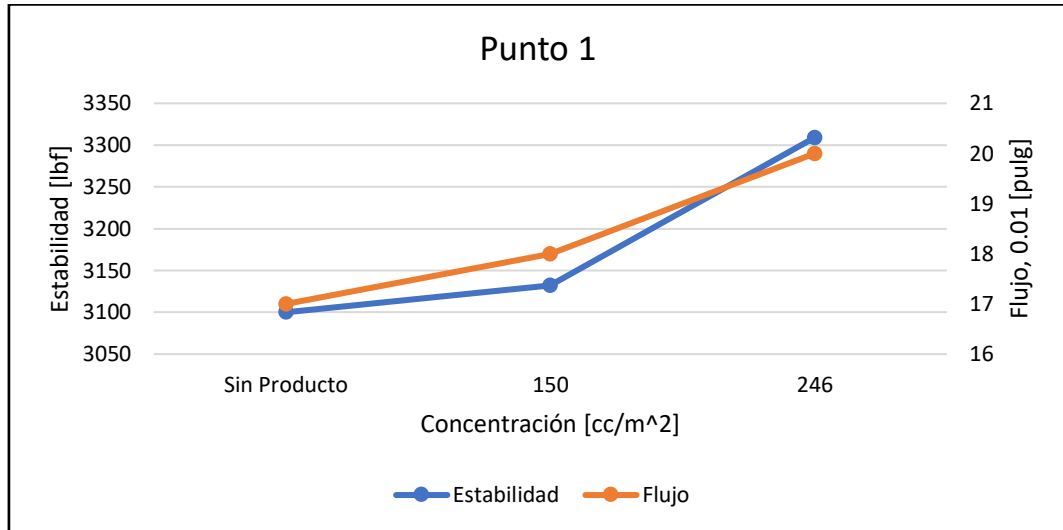
### 4.2.3. ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL

#### 4.2.3.1. Punto 1

**Tabla 4-70. Resumen Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 1**

	PUNTO 1		
	Sin Producto	150 cc/m <sup>2</sup> de producto	246 cc/m <sup>2</sup> de producto
<b>Estabilidad promedio, lbf</b>	3100	3132	3309
<b>Flujo promedio, 0.01 in</b>	17	18	20

**Gráfico 4-7. Estabilidad & Flujo vs Concentración-Punto 1**



Al observar los valores que nos arroja la estabilidad y flujo en el punto 1 se puede observar y analizar a dichos valores que para el caso de la estabilidad van aumentando conforme se le coloca el producto de tratamiento del asfalto, es decir que el asfalto sin producto tiene una estabilidad menor que cuando se le ha aplicado en las dos diferentes dosificaciones que ha hecho que se aumente la estabilidad progresivamente. Esto puede suceder ya que al colocar el producto este le hace que se compacte cada vez más y aumente su resistencia.

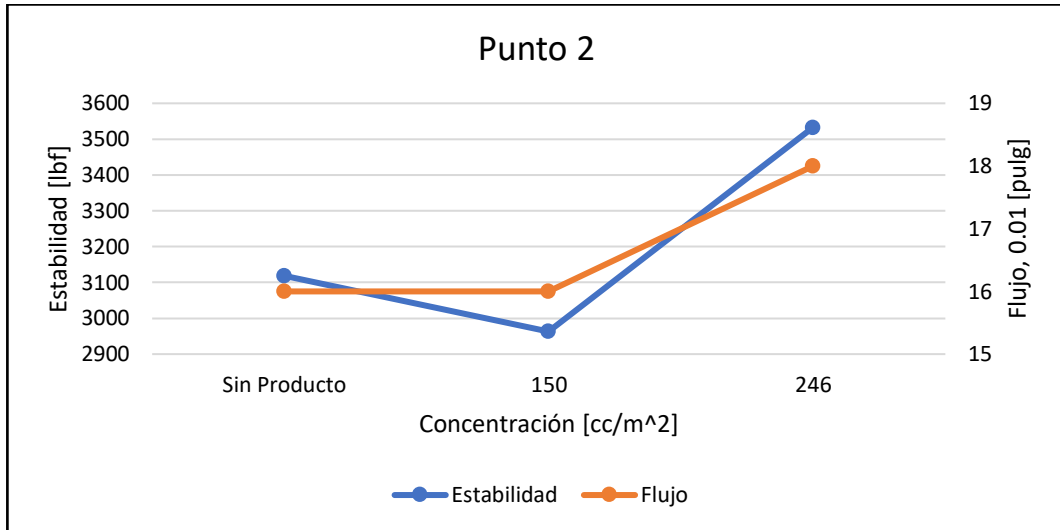
Para el caso del flujo podemos observar que se produce un fenómeno parecido en el cual va aumentando el valor del flujo teniendo un valor sin producto y conforme se le va aumentando dicho valor éste empieza a incrementar cada vez más, lo que al analizar indica que es un resultado lógico y preciso ya que el producto al ingresar al asfalto cumple con los objetivos de hacerle más flexible al pavimento y por esta razón aumentarle el flujo.

**4.2.3.2. Punto 2**

**Tabla 4-71. Resumen Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 2**

	PUNTO 2		
	Sin Producto	150 cc/m2 de producto	246 cc/m2 de producto
<b>Estabilidad promedio, lbf</b>	3118	2963	3533
<b>Flujo promedio, 0.01 in</b>	16	16	18

**Gráfico 4-8. Estabilidad & Flujo vs Concentración-Punto 2**



Al observar los valores que nos arroja la estabilidad y flujo en el punto 2 se puede observar y analizar a dichos valores que para el caso de la estabilidad en la dosificación sin producto tiene un valor un poco menor que con la dosificación de 150 cc/m<sup>2</sup> de producto, esto puede ser debido a que al extraer la briqueta se fracturó e hizo que se reduzca el valor, pero con la dosificación de 246 cc/m<sup>2</sup> de producto podemos observar que aumento con respecto a las otras dos muestras lo que nos indica que cumple con el objetivo de este producto en esta dosificación que es aumentar la resistencia.

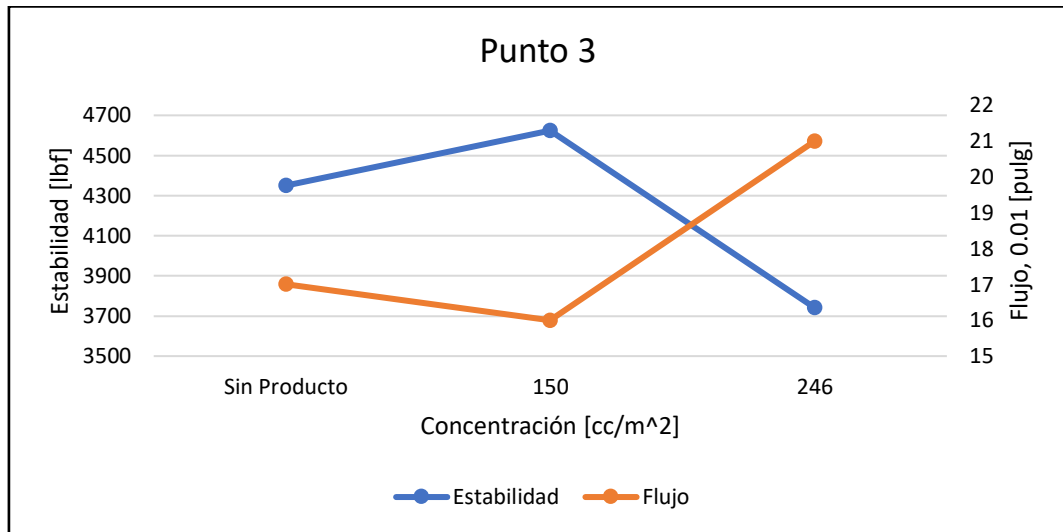
Para el caso del flujo podemos observar que se produce un fenómeno parecido en el cual va aumentando el valor del flujo teniendo un valor sin producto y conforme se le va aumentando dicho valor éste empieza a incrementar cada vez más, lo que al analizar indica que es un resultado lógico y preciso ya que el producto al ingresar al asfalto cumple con los objetivos de hacerle más flexible al pavimento y por esta razón aumentarle el flujo.

#### 4.2.3.3. Punto 3

**Tabla 4-72. Resumen Estabilidad y Flujo Marshall. Punto 3**

	PUNTO 3		
	Sin Producto	150 cc/m <sup>2</sup>	246 cc/m <sup>2</sup> de producto
<b>Estabilidad promedio, lbf</b>	4351	4624	3741
<b>Flujo promedio, 0.01 in</b>	17	16	21

**Gráfico 4-9. Estabilidad & Flujo vs Concentración-Punto 3**



Al observar los valores que nos arroja la estabilidad y flujo en el punto 3 se puede observar y analizar a dichos valores que para el caso de la estabilidad en la dosificación sin producto tiene un valor alto lo cual nos indica que en este paño de pavimento se realizó un tratamiento previo que le hizo que inicialmente sin producto el valor que nos arroje sea alto, para la dosificación de 150 cc/m<sup>2</sup> de producto se puede observar que el valor aumenta con respecto al valor sin producto pero para la dosificación de 246 observamos que la tendencia cambió y en lugar de aumentar este valor disminuyó lo que nos da como análisis de este valor que al extraer la briqueta ésta pudo sufrir una leve fractura que hizo que no continúe con la lógica de aumentar su valor sino que le disminuyó la resistencia al realizar el cálculo.

Para el caso del flujo podemos observar que se produce un fenómeno parecido en el cual va aumentando el valor del flujo teniendo un valor sin producto y conforme se le va aumentando dicho valor éste empieza a incrementar cada vez más, lo que al analizar indica que es un resultado lógico y preciso ya que el producto al ingresar al asfalto cumple con los objetivos de hacerle más flexible al pavimento y por esta razón aumentarle el flujo.

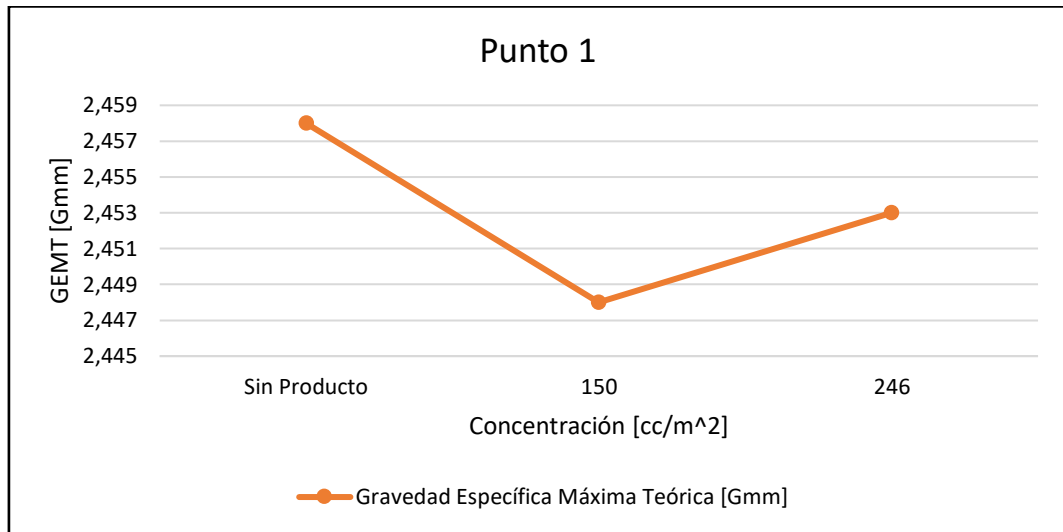
#### 4.2.4. RICE

##### 4.2.4.1. Punto 1

**Tabla 4-73. Resumen RICE. Punto 1**

	PUNTO 1		
	Sin Producto	150 cc/m <sup>2</sup> de producto	246 cc/m <sup>2</sup> de producto
<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	2,458	2,448	2,453

**Gráfico 4-10. Gravedad Específica Máxima Teórica vs Concentración-Punto 1**



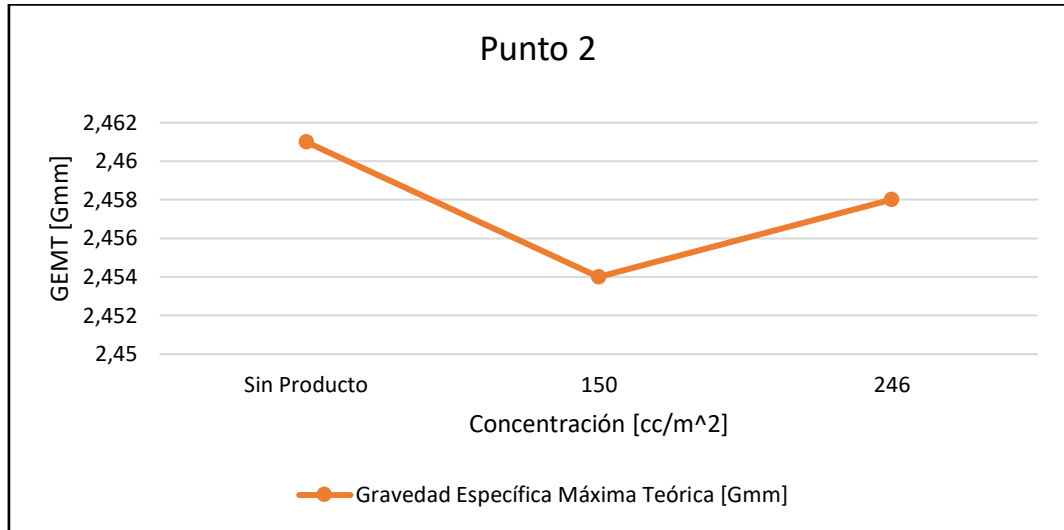
Al observar los valores que nos arroja la gravedad específica máxima teórica (RICE) en el punto 1 se puede observar y analizar a dichos valores que para el caso de la dosificación sin producto tiene un valor muy parecido con respecto a las dos dosificaciones de 150 cc/m<sup>2</sup> y 246 cc/m<sup>2</sup> respectivamente, lo cual al realizar este análisis podemos observar que al ser este resultado la densidad de cada briqueta sin tomar en cuenta los vacíos es decir en condición suelta no compactada el producto no le hace que se varíe los resultados notablemente ya que para esta gravedad no se le toma en cuenta los vacíos que podrían ser llenados con el producto. Se puede mencionar que en este caso existe una muy leve disminución de los resultados cada vez que se le agrega producto lo que nos puede dar a conocer que la cantidad de asfalto absorbido por los agregados conforme se le coloca producto es levemente menor.

**4.2.4.2. Punto 2**

**Tabla 4-74. Resumen RICE. Punto 2**

	PUNTO 2		
	Sin Producto	150 cc/m <sup>2</sup> de producto	246 cc/m <sup>2</sup> de producto
<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	2,461	2,454	2,458

**Gráfico 4-11. Gravedad Específica Máxima Teórica vs Concentración-Punto 2**



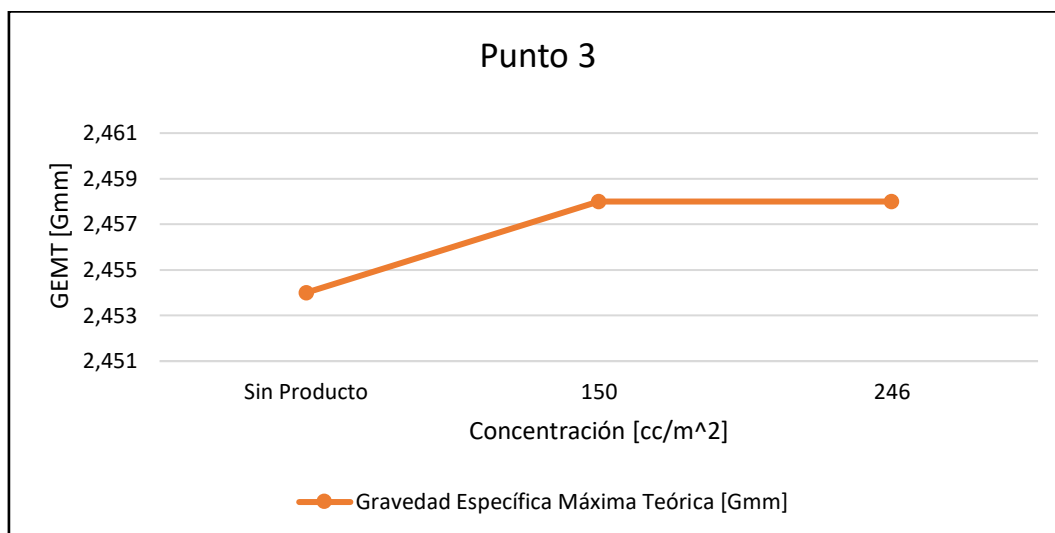
Al observar los valores que nos arroja la gravedad específica máxima teórica (RICE) en el punto 2 se puede observar y analizar a dichos valores que para el caso de la dosificación sin producto tiene un valor muy parecido con respecto a las dos dosificaciones de 150 cc/m<sup>2</sup> y 246 cc/m<sup>2</sup> respectivamente, lo cual al realizar este análisis podemos observar que al ser este resultado la densidad de cada briqueta sin tomar en cuenta los vacíos es decir en condición suelta no compactada el producto no le hace que se varíe los resultados notablemente ya que para esta gravedad no se le toma en cuenta los vacíos que podrían ser llenados con el producto. Se puede mencionar que en este caso existe una leve disminución de los resultados cada vez que se le agrega producto lo que nos puede dar a conocer que la cantidad de asfalto absorbido por los agregados conforme se le coloca producto es menor.

**4.2.4.3. Punto 3**

**Tabla 4-75. Resumen RICE. Punto 3**

	PUNTO 3		
	Sin Producto	150 cc/m <sup>2</sup> de producto	246 cc/m <sup>2</sup> de producto
<b>Gravedad específica máxima teórica (Gmm)</b>	2,454	2,458	2,458

**Gráfico 4-12. Gravedad Específica Máxima Teórica vs Concentración-Punto 3**



Al observar los valores que nos arroja la gravedad específica máxima teórica (RICE) en el punto 3 se puede observar y analizar a dichos valores que para el caso de la dosificación sin producto tiene un valor casi igual con respecto a las dos dosificaciones de 150 cc/m<sup>2</sup> y 246 cc/m<sup>2</sup> respectivamente, lo cual al realizar este análisis podemos observar tres criterios fundamentales como son que para estos resultados de gravedad específica no se toma en cuenta los vacíos, por otra parte que el ensayo es realizado con las briquetas en condición suelta no compactada y que finalmente en este punto se analizó que se realizó un tratamiento al pavimento entonces el producto no logra ingresar adecuadamente y por esta razón prácticamente los resultados al realizar el ensayo nos dan casi parecidos. Se puede mencionar que en este caso la cantidad de asfalto absorbido por los agregados conforme se le coloca producto fue la casi la misma ya que el producto no logró ingresar completamente.

#### **4.2.5. PORCENTAJE DE ASFALTO**

En este ensayo se determina la cantidad de asfalto existente en el pavimento; al usar el método por ignición, el cual elimina todo el material que no sea agregado mineral, entregando un resultado en porcentaje correspondiente a la diferencia de masas inicial y final, se espera que al aumentar la concentración de producto rejuvenecedor, éste también se evapore durante el desarrollo del método, aumentando el valor del porcentaje de asfalto en cada muestra de prueba, a continuación veremos detalladamente el comportamiento del pavimento a diferentes concentraciones del producto.

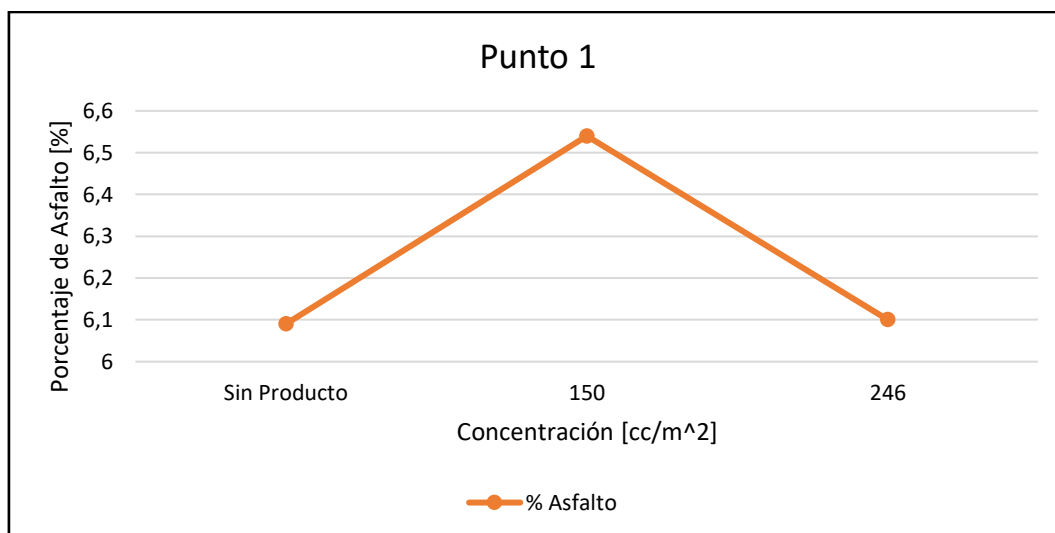
Se tomará como valor referencial el porcentaje de asfalto de la muestra en condiciones iniciales (sin producto).

#### 4.2.5.1. Punto 1

Tabla 4-76. Resumen Porcentaje de Asfalto. Punto 1

	PUNTO 1		
	Sin Producto	150 cc/m <sup>2</sup> de producto	246 cc/m <sup>2</sup> de producto
Porcentaje de pérdida (valor del ticket)	6,09	6,54	6,1

Gráfico 4-13. Porcentaje de Asfalto vs Concentración-Punto 1



En este primer punto de análisis se puede observar que a 150 cc/m<sup>2</sup> de producto el porcentaje de asfaltos aumenta, pero a medida que aumenta la concentración de producto, el porcentaje de asfalto disminuye con respecto a la concentración anterior.

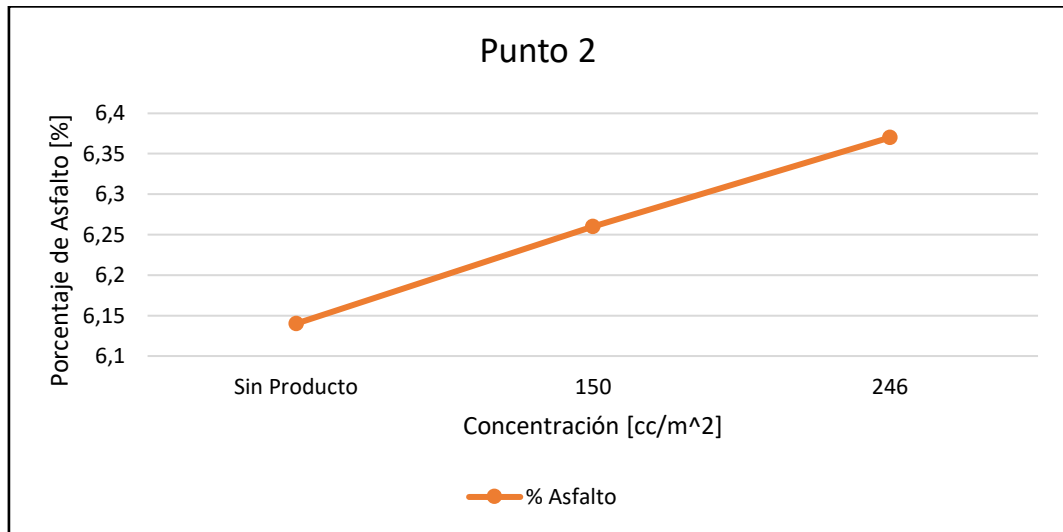
Este comportamiento se puede explicar debido a que existe un exceso de producto lo que no permite la filtración al interior de las muestras de pavimento, particularmente la muestra de concentración 246 cc/m<sup>2</sup> estuvo expuesta a condiciones de humedad ambiente lo que se puede interpretar por el horno como una masa asfáltica al momento de realizar la diferencia de masas, tampoco se tomó en cuenta la cantidad de finos que fueron expulsados por el sistema de ventilación del horno.

#### 4.2.5.2. Punto 2

Tabla 4-77. Resumen Porcentaje de Asfalto. Punto 2

	PUNTO 2		
	Sin Producto	150 cc/m <sup>2</sup> de producto	246 cc/m <sup>2</sup> de producto
Porcentaje de pérdida (valor del ticket)	6,14	6,26	6,37

**Gráfico 4-14. Porcentaje de Asfalto vs Concentración-Punto 2**



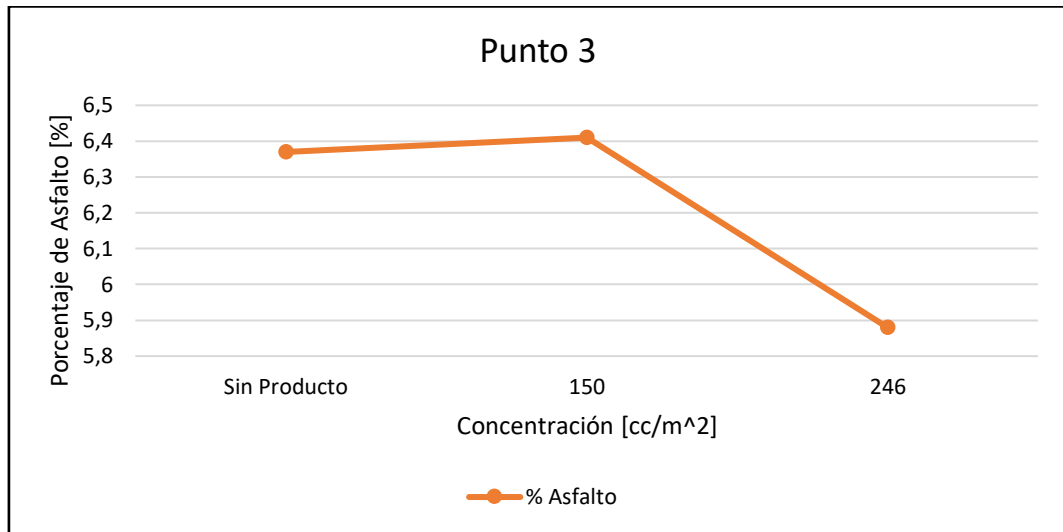
En este grafico se puede observar que el porcentaje de asfalto es directamente proporcional a la concentración del producto en el pavimento. A medida que aumenta la cantidad de producto rejuvenecedor, éste es absorbido por el pavimento el cual permite que ingrese correctamente.

#### 4.2.5.3. Punto 3

**Tabla 4-78. Resumen Porcentaje de Asfalto. Punto 3**

	PUNTO 3		
	Sin Producto	150 cc/m <sup>2</sup> de producto	246 cc/m <sup>2</sup> de producto
<b>Porcentaje de pérdida (valor del ticket)</b>	6,37	6,41	5,88

**Gráfico 4-15. Porcentaje de Asfalto vs Concentración-Punto 3**



Se presenta un ligero aumento del porcentaje de asfalto, pero en la máxima concentración evaluada se puede ver que el porcentaje de asfaltos disminuye considerablemente. Este comportamiento es particular de este punto de análisis debido a que existió previamente a la aplicación del producto un mantenimiento por parte de la entidad a cargo de esta vía. Particularmente la muestra de concentración 246 cc/m<sup>2</sup> estuvo expuesta a condiciones de humedad ambiente lo que se puede interpretar por el horno como una masa asfáltica al momento de realizar la diferencia de masas, tampoco se tomó en cuenta la cantidad de finos que fueron expulsados por el sistema de ventilación del horno.

#### 4.2.6. PORCENTAJE DE VACÍOS

Mediante este ensayo se obtiene el porcentaje de vacíos existentes en una mezcla asfáltica, este valor sirve en la determinación de diseños de mezclas asfálticas o en la evaluación del grado de compactación alcanzado para pavimentos asfálticos.

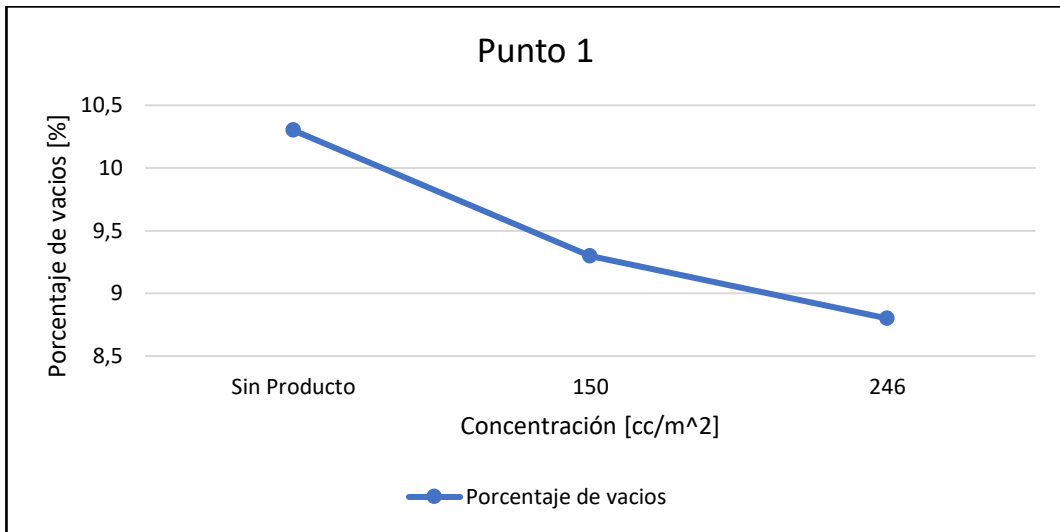
Se toma como base el valor de la muestra en condiciones iniciales (sin producto) y a continuación se compara con las medidas en las cuales se ha aplicado el tratamiento rejuvenecedor y de esta manera determinar la magnitud en la que ha variado el porcentaje de vacíos en cada muestra. Al tener más vacíos nuestro pavimento es mejor porque puede ingresar el producto

##### 4.2.6.1. Punto 1

**Tabla 4-79. Resumen Porcentaje de Vacíos. Punto 1**

	PUNTO 1		
	Sin Producto	150 cc/m <sup>2</sup> de producto	246 cc/m <sup>2</sup> de producto
<b>Porcentaje de vacíos de aire</b>	10,3	9,3	8,8

**Gráfico 4-16. Porcentaje de vacíos vs Concentración-Punto 1**



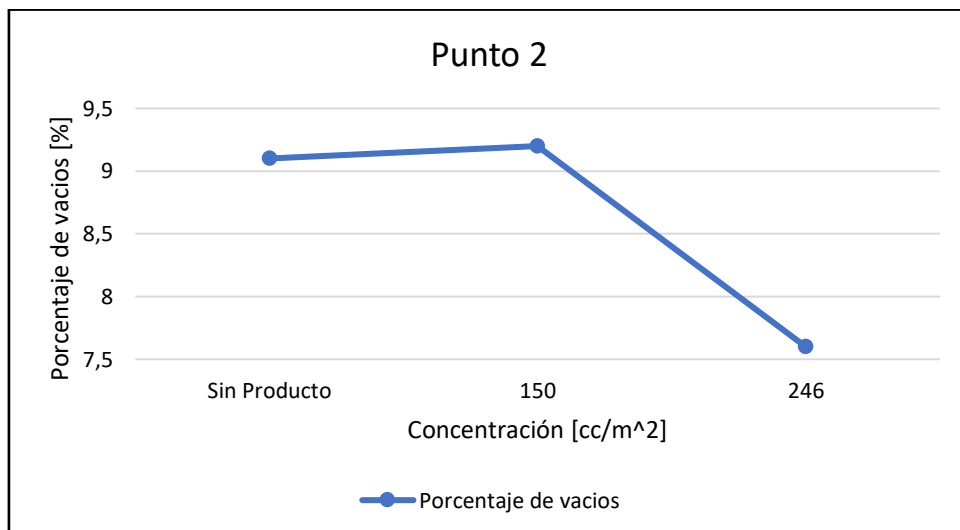
En este primer punto se puede observar que a medida que se ha aplicado el producto rejuvenecedor, éste ha ido ingresando en el pavimento por lo cual se rellenan los espacios de aire que se hallaban inicialmente.

#### 4.2.6.2. Punto 2

**Tabla 4-80. Resumen Porcentaje de Vacíos. Punto 2**

	PUNTO 2		
	Sin Producto	150 cc/m <sup>2</sup> de producto	246 cc/m <sup>2</sup> de producto
<b>Porcentaje de vacíos de aire</b>	9,1	9,2	7,6

**Gráfico 4-17. Porcentaje de vacíos vs Concentración-Punto 2**



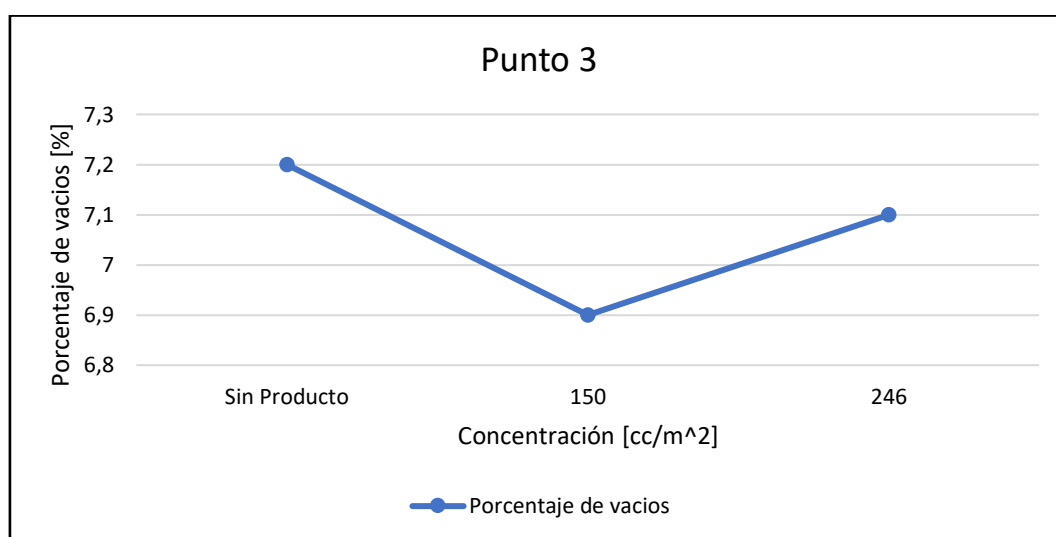
En el segundo punto de análisis podemos observar que el producto pudo ingresar correctamente a una mayor concentración del mismo.

#### 4.2.6.3. Punto 3

**Tabla 4-81. Resumen Porcentaje de Vacíos. Punto 3**

	PUNTO 3		
	Sin Producto	150 cc/m <sup>2</sup> de producto	246 cc/m <sup>2</sup> de producto
<b>Porcentaje de vacíos de aire</b>	7,2	6,9	7,1

**Gráfico 4-18. Porcentaje de vacíos vs Concentración-Punto 3**



En el tercer punto de análisis se puede observar que el producto pudo ingresar de mejor manera a una concentración de 150 cc/m<sup>2</sup> de producto y a medida que aumenta esta concentración el producto ya no puede ingresar correctamente.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Al evaluar los resultados obtenidos en el ensayo del péndulo de fricción se puede determinar que mientras más agua se le coloca al pavimento se produce un fenómeno llamado acuaplánica, el cual indica que mientras menor es la temperatura del pavimento, es decir está más húmedo menor también es su fricción ya que se crea una película sobre el pavimento que hace que se reduzca su coeficiente de fricción y por ende los neumáticos de los vehículos no se adhieran al pavimento correctamente y se produzcan accidentes.
- Se pudo determinar que, para las diferentes dosificaciones colocadas 150 cc/m<sup>2</sup>, 246 cc/m<sup>2</sup> y a las diferentes temperaturas ensayadas con el péndulo se obtuvo ciertos valores que al compararlos con los valores obtenidos del pavimento sin producto éstas hacen que se reduzca el coeficiente de fricción con respecto al pavimento en condiciones iniciales (sin producto), esto se debe ya que al colocar el producto a pesar de que mantiene el relieve del asfalto esto le produce una pequeña capa al pavimento que le tiende a reducir su fricción en un porcentaje mínimo.
- Se pudo establecer que a pesar que el pavimento con el producto rejuvenecedor disminuyo su coeficiente de fricción, este valor esta sobre los valores mínimos para este tipo de vía que según la tabla del Anexo 3 es de 0,50, además se puede realizar una clasificación con respecto a los valores del péndulo para cada una de las dosificaciones las cuales según la tabla del Anexo 2 clasificaríamos como anti derrapante y según la tabla del Anexo 1 como un pavimento de adherencia satisfactoria, en el punto 2 como muy anti derrapante y de adherencia excelente y finalmente en el punto 3 como anti derrapante y de adherencia satisfactoria.
- Se puede determinar según los valores obtenidos de fricción que la mejor dosificación para cada punto analizado será:
  - En el primer punto una concentración de 150 o 246 cc/m<sup>2</sup>.
  - En el segundo punto una concentración de 246 cc/m<sup>2</sup>.
  - En el tercer punto una concentración de 150 cc/m<sup>2</sup>.

- En cuanto a la gravedad específica Bulk del pavimento se puede observar que efectivamente el producto rejuvenecedor modifica esta característica para cada concentración y punto analizado de la vía, llegando a determinar que mientras más aumenta el valor de la gravedad específica Bulk, más producto rejuvenecedor a ingresado al pavimento por lo cual la concentración recomendada para cada tramo de la vía será en función de la siguiente consideración:
  - o En el primer punto una concentración de 246 cc/m<sup>2</sup>.
  - o En el segundo punto una concentración de 246 cc/m<sup>2</sup>.
  - o En el tercer punto una concentración de 150 cc/m<sup>2</sup> de producto.
  
- Al obtener los resultados del ensayo de estabilidad y flujo se puede observar que en el punto 1 el pavimento sin producto tiene un valor de 3100 lbf y 17 respectivamente y al compararlos con los valores de las dos dosificaciones de 150 cc/m<sup>2</sup> y 246 cc/m<sup>2</sup> se puede concluir que colocado el producto suben los valores de estabilidad y flujo hasta 3309 lbf y 20 respectivamente lo que indica que conforme se aumenta el producto la estabilidad y flujo aumentan haciéndole al pavimento más resistente y flexible. Por lo cual la concentración recomendada en este tramo de vía es de 246 cc/m<sup>2</sup>.
  
- Al obtener los resultados del ensayo de estabilidad y flujo se puede observar que en el punto 2 el pavimento sin producto tiene un valor de 3118 lbf y 16 respectivamente y al compararlos con los valores de las dos dosificaciones de 150 cc/m<sup>2</sup> y 246 cc/m<sup>2</sup> se puede concluir que colocado el producto suben los valores de estabilidad y flujo hasta 3533 lbf y 18 respectivamente lo que indica que conforme se aumenta el producto la estabilidad y flujo aumentan haciéndole al pavimento más resistente y flexible. Por lo cual la concentración recomendada en este tramo de vía es de 246 cc/m<sup>2</sup>.
  
- Se observó que los valores de estabilidad obtenidos en esta investigación están por encima del valor mínimo de 1200 lb correspondientes a tráfico medio, descrito en la tabla del Anexo 4, tomando en cuenta que la dosificación óptima para cada punto es aquella que logra la estabilidad máxima en el pavimento.
  
- Al obtener los resultados del ensayo de estabilidad y flujo se puede observar que en el punto 3 el pavimento sin producto tiene un valor de 4351 lbf y 17 respectivamente y al compararlo con los valores de la dosificaciones de 150 cc/m<sup>2</sup> se puede concluir que colocado el producto suben los valores de estabilidad y flujo hasta 4624 lbf y 16 respectivamente lo que indica

que se colocó el producto y la estabilidad y flujo aumentaron pero al compararlo con la dosificación de 246 cc/m<sup>2</sup> se puede observar que en el flujo si existe un aumento es decir que lo hace un poco más flexible al pavimento pero en la estabilidad le reduce lo que nos deja de análisis que al ser un punto dónde previamente se colocó un tratamiento superficial para mejorar al asfalto esto no le permitió al producto ingresar de una manera adecuada y por ende ya no le hizo que pueda subir más la resistencia. Por lo cual la concentración recomendada para este tramo de vía es de 150 cc/m<sup>2</sup> de producto.

- Se comprobó que al colocar el producto rejuvenecedor aumenta el flujo significativamente en cada briqueta ensayada, llegando a valores de hasta 21u que aunque se sale del rango permitido de 8 a 16 u como se puede observar en el Anexo 4, hay que tomar en cuenta que esta normativa no es especialmente para núcleos extraídos lo que para nuestra investigación dicha tabla nos serviría únicamente como una guía y ayuda para poder determinar que si el flujo logra aumentar su valor puede hacerle al pavimento más flexible, dúctil y plástico haciéndole que tenga mayor capacidad para deformarse y no fallar rápidamente cuando se aplican las cargas a las cuales está sometido.
- Al colocar el producto rejuvenecedor se logró crear una película superficial en el pavimento la cual en una de sus funciones hacía que se impermeabilice protegiéndole de agentes externos que le puedan causar daño como por ejemplo el agua, esto se pudo determinar visualmente en campo una vez que el producto estuvo seco y fue sometido posteriormente a condiciones de humedad las cuales al tener contacto con el pavimento no lograron ingresar, sino que escurrían hacia un lado sin lograr infiltrar.
- En cuanto al porcentaje de asfalto presente en la muestra, podemos determinar que los valores máximos en cada punto de análisis representan una mayor absorción y presencia del producto rejuvenecedor por lo que se recomiendan las siguientes concentraciones:
  - En el primer punto una concentración de 150 cc/m<sup>2</sup>.
  - En el segundo punto una concentración de 246 cc/m<sup>2</sup>.
  - En el tercer punto una concentración de 150 cc/m<sup>2</sup>.
- Se puede observar una variación de los valores en el porcentaje de vacíos con respecto a las briquetas sin producto rejuvenecedor y a las que tienen dicho producto, determinando que esto se debe a que al colocar el producto rejuvenecedor hace que se aumente la densidad del pavimento y por ende que se ocupen los vacíos de aire lo que provoca que el porcentaje de

vacíos disminuya. En función del porcentaje de vacíos se recomiendan las siguientes concentraciones para cada punto de análisis de vía:

- En el primer punto una concentración de 246 cc/m<sup>2</sup>.
  - En el segundo punto una concentración de 246 cc/m<sup>2</sup>.
  - En el tercer punto una concentración de 150 cc/m<sup>2</sup>.
- 
- Se pudo determinar que al colocar el producto WD2000 en el pavimento, éste le proporciona un aspecto de embellecimiento a toda la vía, haciéndola parecer como si se le hubiera colocado una nueva capa de rodadura. Esto se logra colocando el producto con una adecuada dosificación y haciendo que se mantenga todo el relieve de la vía, ya que ahí los componentes de los que está formado el rejuvenecedor puedan hacer efecto haciendo que el color se restaure y se logre este efecto visual.
  
  - Se analizaron los resultados obtenidos para cada dosificación en cada punto tomando en cuenta los resultados de los ensayos más significativos y se llegó a determinar que para esta vía Princesa Toa los valores óptimos a colocar serían para el punto 1 una dosificación de 246 cc/m<sup>2</sup>, para el punto 2 una dosificación de 246 cc/m<sup>2</sup> y para el punto 3 una dosificación de 150 cc/m<sup>2</sup>.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Cuando se va a colocar el producto rejuvenecedor a la carpeta asfáltica se recomienda que la superficie esté libre de polvo en las grietas ya que esto puede hacer que el producto no se adhiera y por ende no se logre una penetración adecuada en el pavimento y no se cumplirá con el objetivo que tiene el producto para el asfalto.
- Se recomienda que para determinar la dosificación adecuada de colocación de producto rejuvenecedor se haga primeramente en diferentes puntos de la vía una prueba previa de colocación de diferentes dosificaciones de producto para poder determinar visualmente cual será la óptima quien mantenga las características de forma, relieve y que cubra al 100% la superficie sobre la cual se está colocando el producto ya que al no ser un mismo paño de pavimento en toda la vía las dosificaciones podrían variar según los diferentes puntos analizados.
- Al colocar el producto se debe esperar al menos 6 horas para que éste pueda secarse superficialmente y esto le permita que cuando pasen los vehículos no se adhiera en los neumáticos y así permanezca en el asfalto para continuar con su proceso de penetración durante las siguientes 48 horas.
- Se recomienda realizar un ensayo de péndulo de fricción en diferentes tramos de vía y a diferentes temperaturas para poder observar que con la dosificación escogida se está cumpliendo con los valores mínimos establecidos.
- Se recomienda que cuando una carpeta asfáltica ya ha sido tratada previamente no se coloque ya el producto rejuvenecedor ya que como se pudo observar en el punto 3 para la dosificación de 246 cc/m<sup>2</sup> el producto ya no logró penetrar adecuadamente y al ser valores ya bastante altos de estabilidad por el tratamiento previo el producto ya no realiza su función.
- En el ensayo de porcentaje de asfalto se recomienda trabajar con la muestra totalmente seca desde un inicio para evitar errores por contenido de humedad y también determinar el porcentaje de finos que son expulsados por el sistema de ventilación del horno para evitar errores de cálculo como se pudo observar en tal punto 1 y 3 de una dosificación de 246 cc/m<sup>2</sup> en este ensayo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASTM International. (2011). *ASTM D2041 / D2041M-11 Método de prueba estándar para la máxima densidad y densidad específica teórica de mezclas de pavimentación bituminosas*. Obtenido de [https://doi.org/10.1520/D2041\\_D2041M-11](https://doi.org/10.1520/D2041_D2041M-11)
- ASTM International. (2015). *Método de prueba estándar ASTM D6927-15 para la estabilidad de Marshall y el flujo de mezclas asfálticas*. Obtenido de <https://doi.org/10.1520/D6927-15>
- ASTM International. (2016). *Método de prueba estándar ASTM D6307-16 para el contenido de asfalto de la mezcla asfáltica mediante el método de ignición*. Obtenido de <https://doi.org/10.1520/D6307-16>
- ASTM International. (2017). *ASTM D2726 / D2726M-17 Método de prueba estándar para la gravedad específica en masa y la densidad de mezclas asfálticas compactas no absorbentes*. Obtenido de [https://doi.org/10.1520/D2726\\_D2726M-17](https://doi.org/10.1520/D2726_D2726M-17)
- ASTM International. (2017). *ASTM D3203 / D3203M-17 Método de prueba estándar para el porcentaje de vacíos de aire en mezclas de asfalto compactado*. Obtenido de [https://doi.org/10.1520/D3203\\_D3203M-17](https://doi.org/10.1520/D3203_D3203M-17)
- ASTM International. (2017). *ASTM D3549 / D3549M-17 Método de prueba estándar para el espesor o la altura de las muestras de mezcla asfáltica compactada*. Obtenido de [https://doi.org/10.1520/D3549\\_D3549M-17](https://doi.org/10.1520/D3549_D3549M-17)
- ASTM International. (2018). *ASTM E303-93 (2018) Método de prueba estándar para medir las propiedades de fricción de la superficie utilizando el comprobador de péndulo británico*. Obtenido de <https://doi.org/10.1520/E0303-93R18>
- CAF. (2010). *Mantenimiento Vial. Informe Sectorial (Serie Informes Sectoriales. Infraestructura)*. Caracas: CAF.
- Higuera Sandoval, C. H. (2010). *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos de carreteras*. Tunja: Grupo Imprenta y Publicaciones.
- Leiva, F. (Julio de 2005). *NORMATIVA PARA EVALUAR LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1363/LM-PI-PV-IN-27B-05%20Normativa%20para%20evaluar%20la%20resistencia%20del%20deslizamiento%20superficial%20de%20los%20pavimentos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- LONE STAR SPECIALTIES. LLC. (2010). *WD2000 Rejuvenator for Asphalt Pavements*. Texas: LONE STAR.

- Montejo Fonseca, A. (2008). *Ingeniería de PAVIMENTOS Fundamentos, estudios básicos y diseño*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- OBRACED S.A. (2016). *Protocolo para la aplicación de pruebas del rejuvenecedor de asfaltos REJUMAX WD2000*. Quito: Obraced S.A.
- Reyes Lizcano, F. A. (2003). *DISEÑO RACIONAL DE PAVIMENTOS*. Bogotá: CEJA.

## ANEXOS

### Anexo 1. Normativa Francesa para el coeficiente de Rozamiento Transversal

CRT	Clasificación
$CRT < 0.5$	Adherencia débil. Necesita examen urgente
$0.50 < CRT < 0.60$	Adherencia media. Necesita examen
$0.60 < CRT < 0.70$	Adherencia satisfactoria. Mantenimiento y vigilancia normal
$0.70 < CRT$	Adherencia excelente

Fuente: (Leiva, 2005)

### Anexo 2. Clasificación del Pavimento Según el Coeficiente de Fricción Transversal

CRT	Clasificación del pavimento
0.36	Peligroso
0.36-0.40	Muy liso
0.41-0.45	Liso
0.46-0.50	Bastante liso
0.51-0.55	Medianamente anti derrapante
0.56-0.70	Anti derrapante
0.70	Muy anti derrapante

Fuente: (Leiva, 2005)

**Anexo 3. Valores mínimos de Coeficiente de roce medido con Péndulo Inglés**

Tipo de Sitio	Coef. de Roce
1 Rotondas 2 Curvas con radios menores a 150 [m] 3 Pendientes 1/20 o mayores y pendientes de largos mayores a 100[m] 4 Aproximaciones a cruces semaforizados en vías no restringidas	0.55
Vías interurbanas de categoría autopista primaria y colectora. Vías urbanas con tráficos con flujos mayores que 2000 veh/día.	0.50
Todas las demás vías	0.40

Fuente: (Leiva, 2005)

**Anexo 4. Criterios del Ensayo Marshall**

TIPO DE TRAFICO CRITERIOS MARSHALL	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacios en mezcla								
- Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
- Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
- Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
% Vacios agregados	VER TABLA 405-5.5							
Relación filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2				
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente								
- Capa de Rodadura	70	----	70	----				
- Intermedia o base	60	----	60	----				

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002)

Anexo 5. Datos de Laboratorio. Ensayo Gravedad Específica Bulk - 1

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
FORMATO DE CAMPO

Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas en caliente compactadas (HMA) usando especímenes SSS  
Método de Ensayo Normalizado para la Estabilidad y Flujo de Mezclas Bituminosas

PROYECTO: Tesis Jean Pierre Palacios - Eddy Jusado

RECEPCIÓN: \_\_\_\_\_

HOJA: 1

FECHA DE ROTURA	BIQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	ASTM T166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			Flujo 0.01"	
					Massa del Especimen Seco (gr)	Massa del Especimen Sumergido (gr)	Massa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr)	Medida	Factor de Corrección	Corregida		
	P101 N°1 246cc		63,60	101,21	1107,89	615,64	1112,02					
	P101 N°2 246cc		62,72	101,20	1098,43	610,06	1100,00					
	P101 N°3 150cc		60,25	101,00	1039,10	573,75	1040,67					
	P101 N°4 150cc		57,40	101,10	984,82	542,32	987,10					
	P101 N°5 S/N		53,04	100,39	933,63	517,05	935,93					
	P101 N°6 S/N		53,21	100,79	903,54	494,32	908,23					
	P102 N°7 246cc		62,69	101,35	1110,16	624,70	1119,17					
	P102 N°8 246cc		50,49	101,40	904	507,94	904,33					
	P102 N°9 150cc		50,19	101,20	873,68	408,10	876,79					
	P102 N°10 150cc		52,21	99,60	894,98	493,23	898,12					

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_ INFORME REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 6. Datos de Laboratorio. Ensayo Gravedad Específica Bulk - 2

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
FORMAYO DE CAMPO

**Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas en caliente compactadas (HMA) usando especímenes SSS**  
**Método de Ensayo Normalizado para la Estabilidad y Flujo de Mezclas Bituminosas**

PROYECTO: Tesis Jeanpierre Palacios - Eddy Jurado

RECEPCIÓN: \_\_\_\_\_

HOJA: 2

FECHA DE ROTURA	BRQUETA / NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	AASHTO T166-07 - MÉTODO DE ENSAYO A			ASTM D6927			
					Masa del Especimen Seco (gr)	Masa del Especimen Sumergido (gr)	Masa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr)	Medida	Factor de Corrección	Corregida	Flujo 0.01"
	P102 N°11 S/N		43,79	100,97	76741	428,20	768,20				
	P102 N°12 S/N		48,96	101,06	830,22	459,78	834,73				
	P103 N°13 246c		54,79	101,25	987,13	555,56	987,98				
	P103 N°14 246c		61,97	101,48	114,57	627,08	115,31				
	P103 N°15 150cc		38,54	101,31	694,25	391,15	695,59				
	P103 N°16 150cc		40,51	100,76	730,71	412,60	730,94				
	P103 N°17 S/N		40,47	100,57	725,25	409,31	725,49				
	P103 N°18 S/N		47,73	100,75	852,08	476,03	852,75				

Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

**Anexo 7. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P1 - 246**

ÁREA DE PAVIMENTOS		
DATOS DE ENSAYO		
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN		
RECEPCIÓN N°	<input type="text"/>	
FECHA DE ENSAYO:	<input type="text"/>	
NORMA DE REFERENCIA:	ASTM D2041/D2041M - 11	
ID. MUESTRA	Punto 1 - 246.	
ORIGEN DE LA MUESTRA	Vía Princess Top	
HOJA:	<input type="text"/>	
<b>Información general del ensayo:</b>		
Número de muestras	<input type="text"/>	
Tipo de contenedor	Metálico	
Tipo de procedimiento	En aire	
<b>Registros de la muestra:</b>		
Masa de muestra seca en aire (A), g	9245,2	
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413	
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8747,8	
Procedimiento suplementario	51	
<b>Registros del procedimiento suplementario:</b>		
Masa de la bandeja, g	870,8	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3200,1	
<b>Ciclo</b>	<b>Masa, g</b>	<b>Diferencia, %</b>
1	3173,2	0,81
2	3153,9	0,61
3	3134,0	0,63
4	3124,6	0,50
5	3121,6	0,10
6	3120,8	0,03
7		
8		
9		
10		
11		
Masa de la muestra con superficie seca (A), g	2250	
Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	2,453	
OBSERVACIONES:	<input type="text"/>	

**Fuente:** Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

**Anexo 8. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P1 - 150**

ÁREA DE PAVIMENTOS		
DATOS DE ENSAYO		
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN		
RECEPCIÓN N°	<input type="text"/>	
FECHA DE ENSAYO:	<input type="text"/>	
NORMA DE REFERENCIA:	ASTM D2041/D2041M - 11	
ID. MUESTRA	PUNTO 1 - 150	
ORIGEN DE LA MUESTRA	Via Princesa Toa	
HOJA:	<input type="text"/>	
<b>Información general del ensayo:</b>		
Número de muestras	<input type="text"/>	
Tipo de contenedor	Metálico	
Tipo de procedimiento	En aire	
<b>Registros de la muestra:</b>		
Masa de muestra seca en aire (A), g	8274,1	
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413	
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8962,1	
Procedimiento suplementario	SI	
<b>Registros del procedimiento suplementario:</b>		
Masa de la bandeja, g	876,1	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3237,4	
<b>Ciclo</b>	<b>Masa, g</b>	<b>Diferencia, %</b>
1	3214,4	0,31
2	3193	0,67
3	3178,1	0,97
4	3165,0	0,91
5	3159,7	0,17
6	3158,1	0,05
7	3154,9	0,10
8	3154,2	0,02 - OK
9		
10		
11		
Masa de la muestra con superficie seca (A), g	2278,1	
Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	2,498	
OBSERVACIONES:	<input type="text"/>	

**Fuente:** Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

**Anexo 9. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P1 - S/P**

ÁREA DE PAVIMENTOS		
DATOS DE ENSAYO		
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN		
RECEPCIÓN N°	<input type="text"/>	
FECHA DE ENSAYO:	<input type="text"/>	
NORMA DE REFERENCIA:	ASTM D2041/D2041M - 11.	
ID. MUESTRA	Puerto 1 - Sin producto	
ORIGEN DE LA MUESTRA	Via Princesa Tpa	
HOJA:	<input type="text"/>	
<b>Información general del ensayo:</b>		
Número de muestras	<input type="text"/>	
Tipo de contenedor	Metálico	
Tipo de procedimiento	En aire	
<b>Registros de la muestra:</b>		
Masa de muestra seca en aire (A), g	2214,4	
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	741,2	
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	3735,5	
Procedimiento suplementario	SI	
<b>Registros del procedimiento suplementario:</b>		
Masa de la bandeja, g	849	
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3186,05	
<b>Ciclo</b>	<b>Masa, g</b>	<b>Diferencia, %</b>
1	3159,1	0,86
2	3139,2	0,63
3	3123,9	0,49
4	3113,3	0,34
5	3105,1	0,26
6	3093,4	0,38
7	3088,1	0,17
8	3081,9	0,10
9	3078,9	0,19
10	3075,9	0,10
11	3074,7	0,04 → ok
Masa de la muestra con superficie seca (A), g	2227,7	
Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	2,458	
OBSERVACIONES:	<input type="text"/>	

**Fuente:** Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

**Anexo 10. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P2 - 246**

**ÁREA DE PAVIMENTOS  
DATOS DE ENSAYO**

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

RECEPCIÓN N°:  FECHA DE ENSAYO:

NORMA DE REFERENCIA:

ID. MUESTRA:  ORIGEN DE LA MUESTRA:

HOJA:

**Información general del ensayo:**

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

**Registros de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2880,4
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	74,3
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	2769,5
Procedimiento suplementario	51

**Registros del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	874,1
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3243,7

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1	3223,8	0,61
2	3209,3	0,48
3	3198,2	0,31
4	3185,5	0,40
5	3173,5	0,38
6	3165,6	0,25
7	3160,2	0,17
8	3158,6	0,05
9	3158,5	0,00
10		
11		

2284,4

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	<del>2284,4</del>
---	-------------------

Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	2,458
--	-------

OBSERVACIONES:

**Fuente:** Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 11. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P2 - 150

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**DATOS DE ENSAYO**

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

RECEPCIÓN N°:  FECHA DE ENSAYO:

NORMA DE REFERENCIA:

ID. MUESTRA:  ORIGEN DE LA MUESTRA:

HOJA:

**Información general del ensayo:**

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

**Registros de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2252,41
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413.
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8753,5
Procedimiento suplementario	SI

**Registros del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	870,9.
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3211,9.

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1	3183,5	0,88
2	3164,2	0,61
3	3148,0	0,49
4	3140,3	0,27
5	3134,8	0,18
6	3131,1	0,12
7	3129,5	0,05
8	3129,3	0,01
9		
10		
11		

→ OK.

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	2258,4
---	--------

Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	2,454
--	-------

OBSERVACIONES:

Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

**Anexo 12. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P2 - S/P**

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**DATOS DE ENSAYO**

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

RECEPCIÓN N°:       FECHA DE ENSAYO:

NORMA DE REFERENCIA:

ID. MUESTRA:       ORIGEN DE LA MUESTRA:

HOJA:

**Información general del ensayo:**

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

**Registros de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2259.0
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413.0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8759.5
Procedimiento suplementario	

**Registros del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	857.1
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3244

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1	3205.8	0.20810 1.8
2	3183	0.71
3	3162.9	0.63
4	3145.9	0.54
5	3130.5	0.49
6	3126	0.06
7	3123.8	0.15
8	3121.9	0.06
9	3121.5	0.01 → ok!
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g:

Gravedad específica máxima teórica (Gmm):

OBSERVACIONES:

**Fuente:** Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

**Anexo 13. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P3 - 246**

**ÁREA DE PAVIMENTOS  
DATOS DE ENSAYO**

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

RECEPCIÓN N°:  FECHA DE ENSAYO:

NORMA DE REFERENCIA:

ID. MUESTRA:  ORIGEN DE LA MUESTRA:

HOJA:

**Información general del ensayo:**

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

**Registros de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2235,00
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8747
Procedimiento suplementario	SI

**Registros del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	861,1
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3190,5

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1	3160,4	0,83
2	3148,5	0,49
3	3135,9	0,40
4	3124,8	0,35
5	3113,3	0,37
6	3107,0	0,20
7	3105,0	0,06
8	3104,4	3104,2 0,02 -10K
9		
10		
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g

Gravedad específica máxima teórica (Gmm)

OBSERVACIONES:

**Fuente:** Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 14. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P3 - 150

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**DATOS DE ENSAYO**

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN

RECEPCIÓN N°  FECHA DE ENSAYO:

NORMA DE REFERENCIA:

ID. MUESTRA  ORIGEN DE LA MUESTRA

HOJA:

**Información general del ensayo:**

Número de muestras	
Tipo de contenedor	Metálico
Tipo de procedimiento	En aire

**Registros de la muestra:**

Masa de muestra seca en aire (A), g	2153,9
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8652,3
Procedimiento suplementario	SI

**Registros del procedimiento suplementario:**

Masa de la bandeja, g	880,9
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	<del>3175</del> 3175

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1	3119,8	<del>0,5</del> 0,17
2	3101,6	<del>0,2</del> 0,58
3	3087,0	0,47
4	<del>3074,5</del>	
5	3075,5	0,37
6	3055,6	0,65
7	3044,0	0,38
8	3039,1	0,16
9	3036,9	0,07
10	3036,5	0,01
11		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g

Gravedad específica máxima teórica (Gmm)

OBSERVACIONES:

Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

**Anexo 15. Datos de Laboratorio. Ensayo RICE. P3 - S/P**

ÁREA DE PAVIMENTOS			
DATOS DE ENSAYO			
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN			
RECEPCIÓN N°	<input type="text"/>		
FECHA DE ENSAYO:	<input type="text"/>		
NORMA DE REFERENCIA:	ASTM D2041/D2041M - 11		
ID. MUESTRA	Punto 3 - Sin producto		
ORIGEN DE LA MUESTRA	Via Princesa 700		
HOJA:	<input type="text"/>		
<b>Información general del ensayo:</b>			
Número de muestras	<input type="text"/>		
Tipo de contenedor	Metálico		
Tipo de procedimiento	En aire		
<b>Registros de la muestra:</b>			
Masa de muestra seca en aire (A), g	2225,6		
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	2413,0		
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8734,6		
Procedimiento suplementario	<input type="text"/>		
<b>Registros del procedimiento suplementario:</b>			
Masa de la bandeja, g	865,9		
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	3227,3		
<b>Ciclo</b>	<b>Masa, g</b>	<b>Diferencia, %</b>	
1	3153,4	2,29	
2	3128,6	0,79	
3	3114,1	0,46	
4	3104,1	0,32	
5	3097	0,23	
6	3094,9	0,07	
7	3094,4	0,02	->ok!
8			
9			
10			
11			
Masa de la muestra con superficie seca (A), g	2229,5		
Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	2,454		
OBSERVACIONES:	<input type="text"/>		

**Fuente:** Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 16. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P1 - 246

ÁREA DE PAVIMENTOS		
HOJA DE CAMPO		
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN		
NORMA: AASHTO T 308-08	ORDEN:	
ID MUESTRA:		
PUNTO 1 - 246		
ORIGEN DE LA MUESTRA:		
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?		
		MASA CTE.
CONTENIDO DE HUMEDAD [%]:		
<i>Si fue determinado por AASHTO T 329</i>		
<b>Mb</b>	3385,06	Masa del conjunto bandeja (balanza externa) [g]
<b>Mti</b>	5179,99	Masa total inicial (balanza externa) [g]
<b>Mi</b>	1834,94	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) [g]
<b>Mth</b>	5284	Masa total (balanza horno) [g] (Aplica en Método A)
<b>ΔM</b>		Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)
<b>Mtf</b>	5164,48	Masa total final (balanza externa) [g]
<b>Mf</b>		Masa de muestra inicial (Mtf-Mb) [g]
<b>Pb</b>	6,03 <i>6,03 → 6,10 excel</i>	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) [%] (Aplica en Método A)
<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>		NO (Aplica en Método A)
<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido [%]
<b>T</b>		Temperatura de ensayo [°C]
<b>COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:</b>		
Laboratorista.		

Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 17. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P1 - 150

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>HOJA DE CAMPO</b> <b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b> <b>POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN</b>																																						
NORMA: AASHTO T 308-08		ORDEN:																																				
ID MUESTRA:																																						
Punto 1-150																																						
ORIGEN DE LA MUESTRA:																																						
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?		MASA CTE.																																				
CONTENIDO DE HUMEDAD [%]:		Si fue determinado por AASHTO T 329																																				
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 2px;">Mb</td> <td style="width: 15%; padding: 2px; border: 1px solid black;">3396,21</td> <td style="padding: 2px;">Masa del conjunto bandeja (balanza externa) [g]</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Mti</td> <td style="padding: 2px; border: 1px solid black;">5286,25</td> <td style="padding: 2px;">Masa total inicial (balanza externa) [g]</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Mi</td> <td style="padding: 2px; border: 1px solid black;">1890,03</td> <td style="padding: 2px;">Masa de muestra inicial (Mti-Mb) [g]</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Mth</td> <td style="padding: 2px; border: 1px solid black;">5291,1</td> <td style="padding: 2px;">Masa total (balanza horno) [g] (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">ΔM</td> <td style="padding: 2px; border: 1px solid black;"> </td> <td style="padding: 2px;">Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Mtf</td> <td style="padding: 2px; border: 1px solid black;">5162,20</td> <td style="padding: 2px;">Masa total final (balanza externa) [g]</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Mf</td> <td style="padding: 2px; border: 1px solid black;"> </td> <td style="padding: 2px;">Masa de muestra final (Mtf-Mb) [g]</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Pb</td> <td style="padding: 2px; border: 1px solid black;">6,48</td> <td style="padding: 2px;">Porcentaje de pérdida (valor del ticket) [%] (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">NO</td> </tr> </table> </td> <td style="padding: 2px;">(Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Pb c</td> <td style="padding: 2px; border: 1px solid black;"> </td> <td style="padding: 2px;">Contenido de ligante corregido [%]</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">T</td> <td style="padding: 2px; border: 1px solid black;"> </td> <td style="padding: 2px;">Temperatura de ensayo [°C]</td> </tr> </table>				Mb	3396,21	Masa del conjunto bandeja (balanza externa) [g]	Mti	5286,25	Masa total inicial (balanza externa) [g]	Mi	1890,03	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) [g]	Mth	5291,1	Masa total (balanza horno) [g] (Aplica en Método A)	ΔM		Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)	Mtf	5162,20	Masa total final (balanza externa) [g]	Mf		Masa de muestra final (Mtf-Mb) [g]	Pb	6,48	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) [%] (Aplica en Método A)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">NO</td> </tr> </table>		¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?	NO	(Aplica en Método A)	Pb c		Contenido de ligante corregido [%]	T		Temperatura de ensayo [°C]
Mb	3396,21	Masa del conjunto bandeja (balanza externa) [g]																																				
Mti	5286,25	Masa total inicial (balanza externa) [g]																																				
Mi	1890,03	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) [g]																																				
Mth	5291,1	Masa total (balanza horno) [g] (Aplica en Método A)																																				
ΔM		Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)																																				
Mtf	5162,20	Masa total final (balanza externa) [g]																																				
Mf		Masa de muestra final (Mtf-Mb) [g]																																				
Pb	6,48	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) [%] (Aplica en Método A)																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">NO</td> </tr> </table>		¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?	NO	(Aplica en Método A)																																		
¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?	NO																																					
Pb c		Contenido de ligante corregido [%]																																				
T		Temperatura de ensayo [°C]																																				
COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:																																						
Laboratorista.																																						

Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 18. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P1 - S/P

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b>																																							
<b>HOJA DE CAMPO</b>																																							
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN</b>																																							
NORMA: AASHTO T 308-08		ORDEN:																																					
ID MUESTRA:																																							
Plano 1 - Sin producto																																							
ORIGEN DE LA MUESTRA:																																							
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?		MASA CTE.																																					
CONTENIDO DE HUMEDAD [%]:		Si fue determinado por AASHTO T 329																																					
3396,21 3286,25 390,05 5291,1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"><b>Mb</b></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">3387,15</td> <td>Masa del conjunto bandeja (balanza externa) [g]</td> </tr> <tr> <td><b>Mti</b></td> <td style="text-align: center;">5250,68</td> <td>Masa total inicial (balanza externa) [g]</td> </tr> <tr> <td><b>Mi</b></td> <td style="text-align: center;">1863,53</td> <td>Masa de muestra inicial (Mti-Mb) [g]</td> </tr> <tr> <td><b>Mth</b></td> <td style="text-align: center;">5254,9</td> <td>Masa total (balanza horno) [g] (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td><b>ΔM</b></td> <td> </td> <td>Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td><b>Mtf</b></td> <td style="text-align: center;">5137,26</td> <td>Masa total final (balanza externa) [g]</td> </tr> <tr> <td><b>Mf</b></td> <td> </td> <td>Masa de muestra inicial (Mtf-Mb) [g]</td> </tr> <tr> <td><b>Pb</b></td> <td style="text-align: center;">6,02</td> <td>Porcentaje de pérdida (valor del ticket) [%] (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> </td> <td>6,09 → excl.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</td> <td>NO (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td><b>Pb c</b></td> <td> </td> <td>Contenido de ligante corregido [%]</td> </tr> <tr> <td><b>T</b></td> <td> </td> <td>Temperatura de ensayo [°C]</td> </tr> </table>	<b>Mb</b>	3387,15	Masa del conjunto bandeja (balanza externa) [g]	<b>Mti</b>	5250,68	Masa total inicial (balanza externa) [g]	<b>Mi</b>	1863,53	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) [g]	<b>Mth</b>	5254,9	Masa total (balanza horno) [g] (Aplica en Método A)	<b>ΔM</b>		Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)	<b>Mtf</b>	5137,26	Masa total final (balanza externa) [g]	<b>Mf</b>		Masa de muestra inicial (Mtf-Mb) [g]	<b>Pb</b>	6,02	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) [%] (Aplica en Método A)			6,09 → excl.	¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?		NO (Aplica en Método A)	<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido [%]	<b>T</b>		Temperatura de ensayo [°C]		
<b>Mb</b>	3387,15	Masa del conjunto bandeja (balanza externa) [g]																																					
<b>Mti</b>	5250,68	Masa total inicial (balanza externa) [g]																																					
<b>Mi</b>	1863,53	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) [g]																																					
<b>Mth</b>	5254,9	Masa total (balanza horno) [g] (Aplica en Método A)																																					
<b>ΔM</b>		Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)																																					
<b>Mtf</b>	5137,26	Masa total final (balanza externa) [g]																																					
<b>Mf</b>		Masa de muestra inicial (Mtf-Mb) [g]																																					
<b>Pb</b>	6,02	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) [%] (Aplica en Método A)																																					
		6,09 → excl.																																					
¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?		NO (Aplica en Método A)																																					
<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido [%]																																					
<b>T</b>		Temperatura de ensayo [°C]																																					
COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:																																							
Laboratorista. _____																																							

Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 19. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P2 - 246

ÁREA DE PAVIMENTOS			
HOJA DE CAMPO			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN			
NORMA: AASHTO T 308-08		ORDEN:	
ID MUESTRA:			
PUNTO 2-246			
ORIGEN DE LA MUESTRA:			
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?		MASA CTE.	
CONTENIDO DE HUMEDAD [%]:		Si fue determinado por AASHTO T 329	
Mb	3290,50	Masa del conjunto bandeja (balanza externa) [g]	
Mti	5288,02	Masa total inicial (balanza externa) [g]	
Mi	1997,52	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) [g]	
Mth	5287	Masa total (balanza horno) [g] (Aplica en Método A)	
ΔM		Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)	
Mtf	5161,50	Masa total final (balanza externa) [g]	
Mf		Masa de muestra final (Mtf-Mb) [g]	
Pb	6,34 6,37 → excel	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) [%] (Aplica en Método A)	
¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?		NO (Aplica en Método A)	
Pb c		Contenido de ligante corregido [%]	
T		Temperatura de ensayo [°C]	
COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:			
Laboratorista. _____			

Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 20. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P2 - 150

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>HOJA DE CAMPO</b> DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN		
NORMA: AASHTO T 308-08	ORDEN:	
ID MUESTRA:		
Rutro 2 - 150.		
ORIGEN DE LA MUESTRA:		
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?		
		MASA CTE.
CONTENIDO DE HUMEDAD [%]:		
<i>Si fue determinado por AASHTO T 329</i>		
<b>Mb</b>	3386,06	Masa del conjunto bandeja (balanza externa) [g]
<b>Mti</b>	5267,38	Masa total inicial (balanza externa) [g]
<b>Mi</b>	1891,32	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) [g]
<b>Mth</b>	5271,2	Masa total (balanza horno) [g] (Aplica en Método A)
<b>ΔM</b>		Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)
<b>Mtf</b>	5149,53	Masa total final (balanza externa) [g]
<b>Mf</b>		Masa de muestra final (Mtf-Mb) [g]
<b>Pb</b>	6,12	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) [%] (Aplica en Método A)
	<i>6,12 = 20 x 0,1</i>	
¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?		NO (Aplica en Método A)
<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido [%]
<b>T</b>		Temperatura de ensayo [°C]
COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:		
Laboratorista.		

Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 21. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P2 - S/P

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b>			
<b>HOJA DE CAMPO</b>			
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN</b>			
NORMA: AASHTO T 308-08		ORDEN:	
ID MUESTRA:			
Punto 2 - Sin producto			
ORIGEN DE LA MUESTRA:			
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?		MASA CTE.	
CONTENIDO DE HUMEDAD [%]:		Si fue determinado por AASHTO T 329	
Mb	3383,21	Masa del conjunto bandeja (balanza externa) [g]	
Mti	5240,19	Masa total inicial (balanza externa) [g]	
Mi	1856,98	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) [g]	
Mth	5244,41	Masa total (balanza horno) [g] (Aplica en Método A)	
ΔM		Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)	
Mtf	5126,03	Masa total final (balanza externa) [g]	
Mf		Masa de muestra final (Mtf-Mb) [g]	
Pb	6,3	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) [%] (Aplica en Método A)	
¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?		NO (Aplica en Método A)	
Pb c		Contenido de ligante corregido [%]	
T		Temperatura de ensayo [°C]	
COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:			
Laboratorista.			

Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 22. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P3 - 246

ÁREA DE PAVIMENTOS			
HOJA DE CAMPO			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN			
NORMA: AASHTO T 308-08		ORDEN:	
ID MUESTRA:			
PUNTO 3-246			
ORIGEN DE LA MUESTRA:			
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?		MASA CTE.	
CONTENIDO DE HUMEDAD [%]:		Si fue determinado por AASHTO T 329	
SI	NO		
3401,14	<input type="text" value="3211,65"/>	Mb	Masa del conjunto bandeja (balanza externa) [g]
5222,61	<input type="text" value="5332,7"/>	Mti	Masa total inicial (balanza externa) [g]
1821,47	<input type="text" value="1821,12"/>	Mi	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) [g]
5227,0	<input type="text"/>	Mth	Masa total (balanza horno) [g] (Aplica en Método A)
	<input type="text"/>	ΔM	Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)
5115,53	<input type="text"/>	Mtf	Masa total final (balanza externa) [g]
	<input type="text"/>	Mf	Masa de muestra inicial (Mtf-Mb) [g]
	<input type="text" value="5,75"/>	Pb	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) [%] (Aplica en Método A)
	<input type="text" value="5,88 - 2,2 x 100"/>	¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET? <input type="text" value="NO"/> (Aplica en Método A)	
	<input type="text"/>	Pb c	Contenido de ligante corregido [%]
	<input type="text"/>	T	Temperatura de ensayo [°C]
COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:			
Laboratorista. _____			

Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 23. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P3 - 150

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**HOJA DE CAMPO**  
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**  
**POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN**

NORMA: AASHTO T 308-08		ORDEN:
ID MUESTRA:		
PUNTO 3-150		*
ORIGEN DE LA MUESTRA:		
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?		MASA CTE.
CONTENIDO DE HUMEDAD [%]:	Si fue determinado por AASHTO T 329	

<b>Mb</b>	3399,49	Masa del conjunto bandeja (balanza externa) [g]
<b>Mti</b>	5133,12	Masa total inicial (balanza externa) [g]
<b>Mi</b>	1733,63	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) [g]
<b>Mth</b>	5133,7	Masa total (balanza horno) [g] (Aplica en Método A)
<b>ΔM</b>		Comprobar si esto dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)
<b>Mtf</b>	<del>5021,98</del>	Masa total final (balanza externa) [g] 5021,98 → *
<b>Mf</b>		Masa de muestra final (Mtf-Mb) [g]
<b>Pb</b>		Porcentaje de pérdida (valor del ticket) [%] (Aplica en Método A) 6,41

<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>	NO	(Aplica en Método A)
---	----	----------------------

<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido [%]
<b>T</b>		Temperatura de ensayo [°C]

**COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:**

\_\_\_\_\_  
Laboratorista.

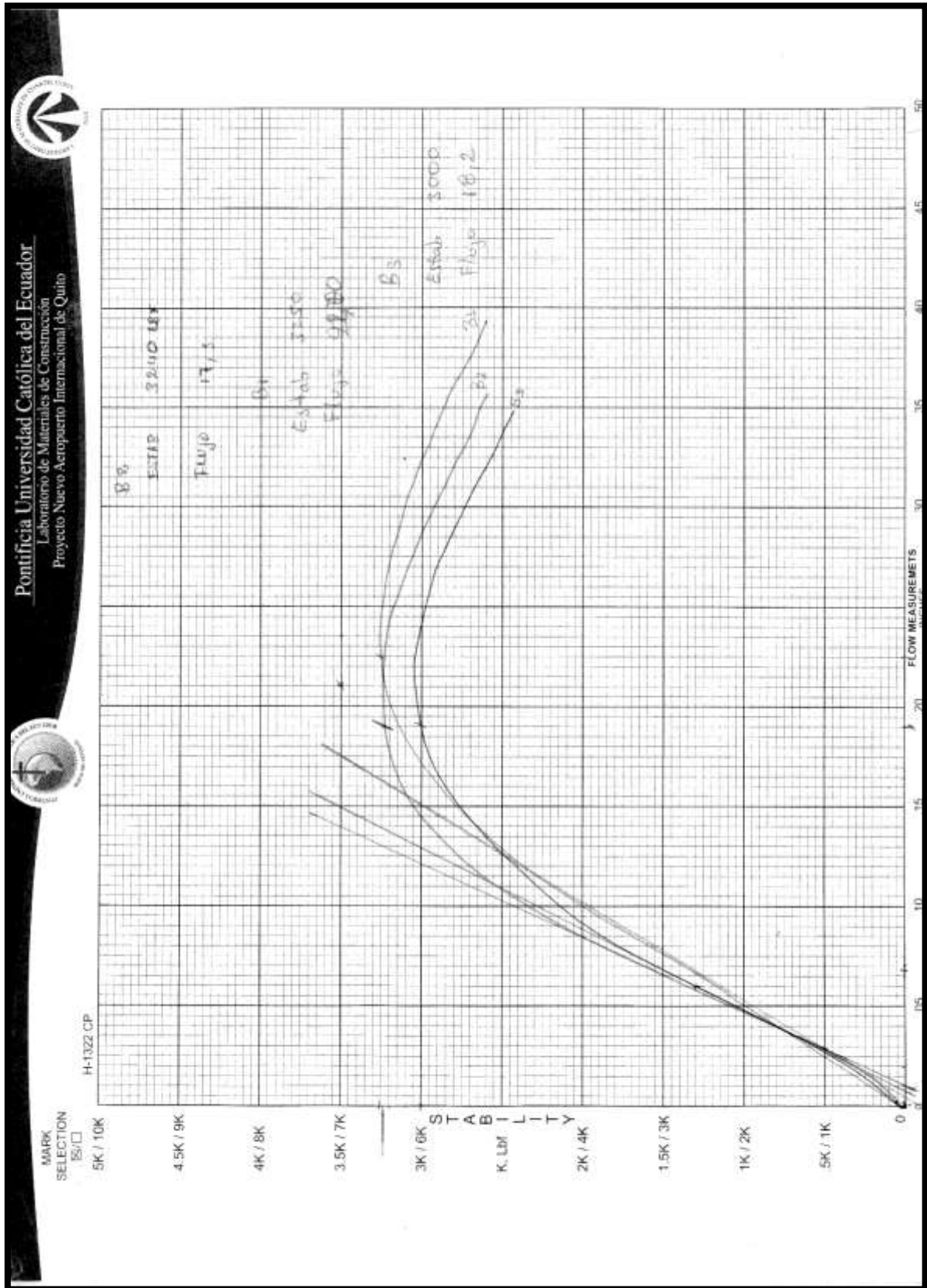
Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 24. Datos de Laboratorio. Ensayo de Contenido de Asfalto. P3 - S/P

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>HOJA DE CAMPO</b> <b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b> <b>POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN</b>			
NORMA: AASHTO T 308-08		ORDEN:	
ID MUESTRA:			
Rando 3 - Sin producto			
ORIGEN DE LA MUESTRA:			
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?		MASA CTE.	
CONTENIDO DE HUMEDAD [%]:			
		Si fue determinado por AASHTO T 329	
<b>Mb</b>	3395,60	Masa del conjunto bandeja (balanza externa) [g]	
<b>Mti</b>	5256,55	Masa total inicial (balanza externa) [g]	
<b>Mi</b>	1860,95	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) [g]	
<b>Mth</b>	5262,1	Masa total (balanza horno) [g] (Aplica en Método A)	
<b>ΔM</b>		Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)	
<b>Mtf</b>	5187,93	Masa total final (balanza externa) [g]	
<b>Mf</b>		Masa de muestra final (Mtf-Mb) [g]	
<b>Pb</b>	6,38	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) [%] (Aplica en Método A)	
¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?		NO (Aplica en Método A)	
<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido [%]	
<b>T</b>		Temperatura de ensayo [°C]	
COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:			
Laboratorista.			

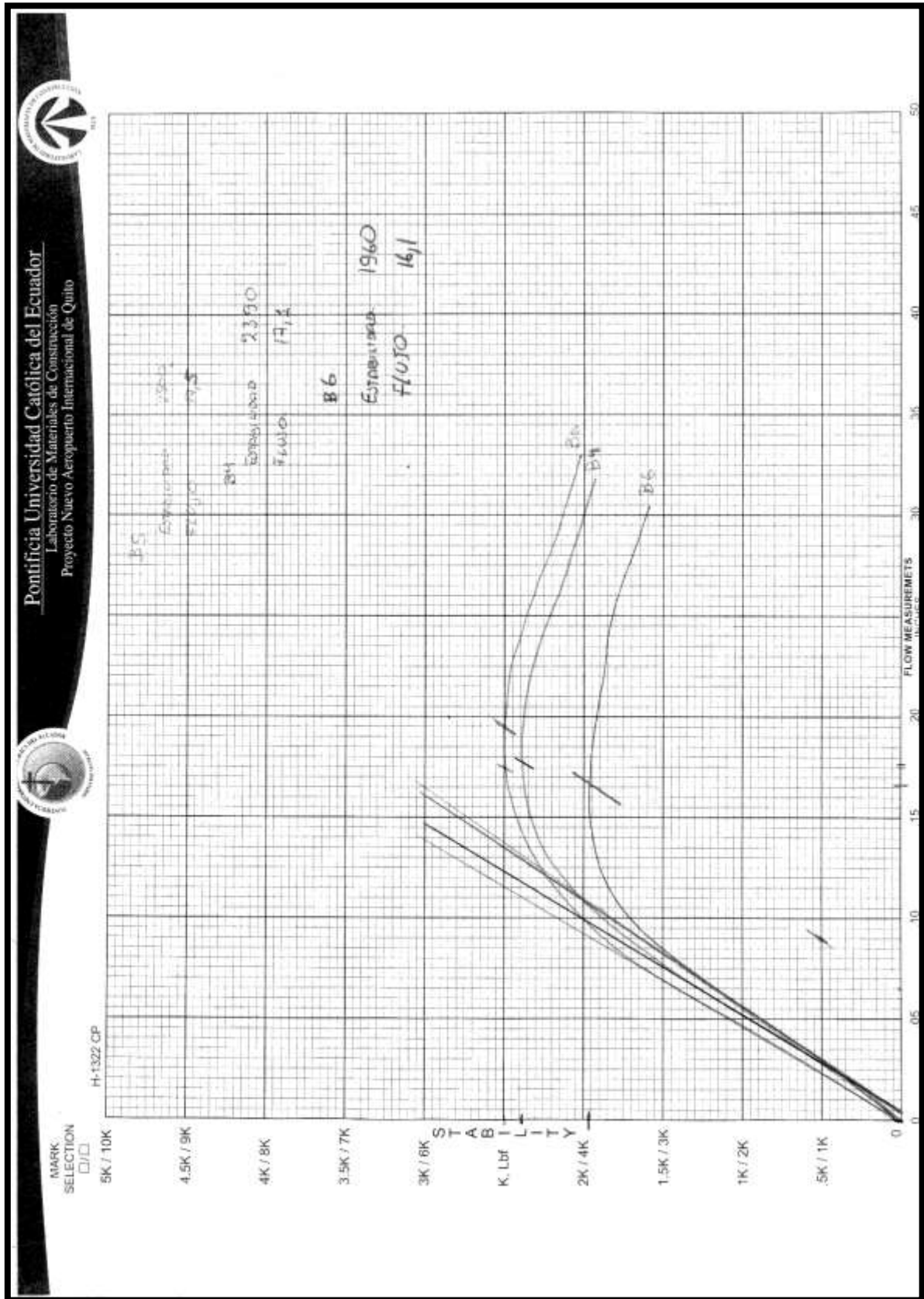
Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 25. Datos de Laboratorio. Ensayo Marshall. Briqueta 1, 2 & 3



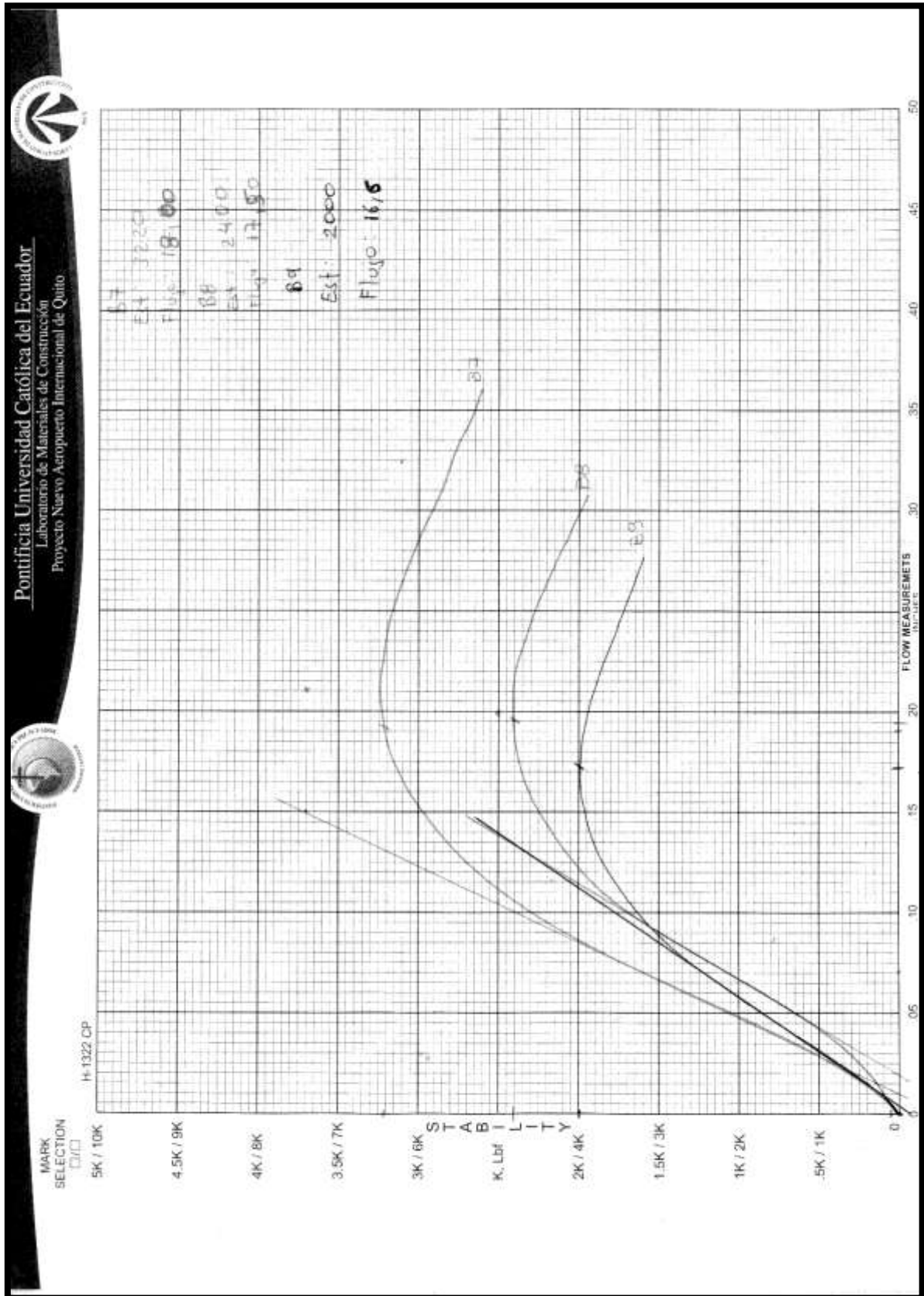
Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 26. Datos de Laboratorio. Ensayo Marshall. Briqueta 4, 5 & 6



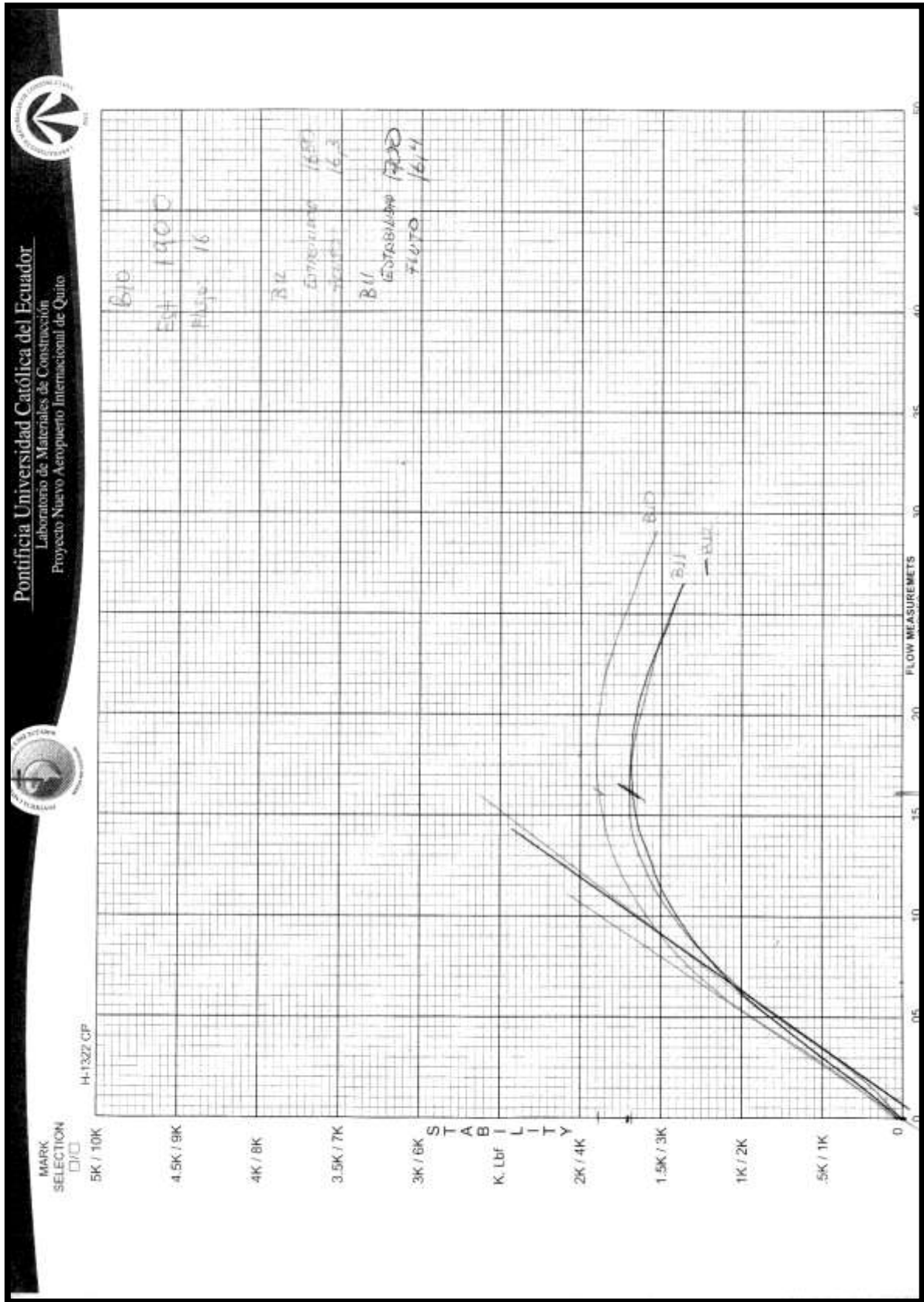
Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 27. Datos de Laboratorio. Ensayo Marshall. Briqueta 7, 8 & 9



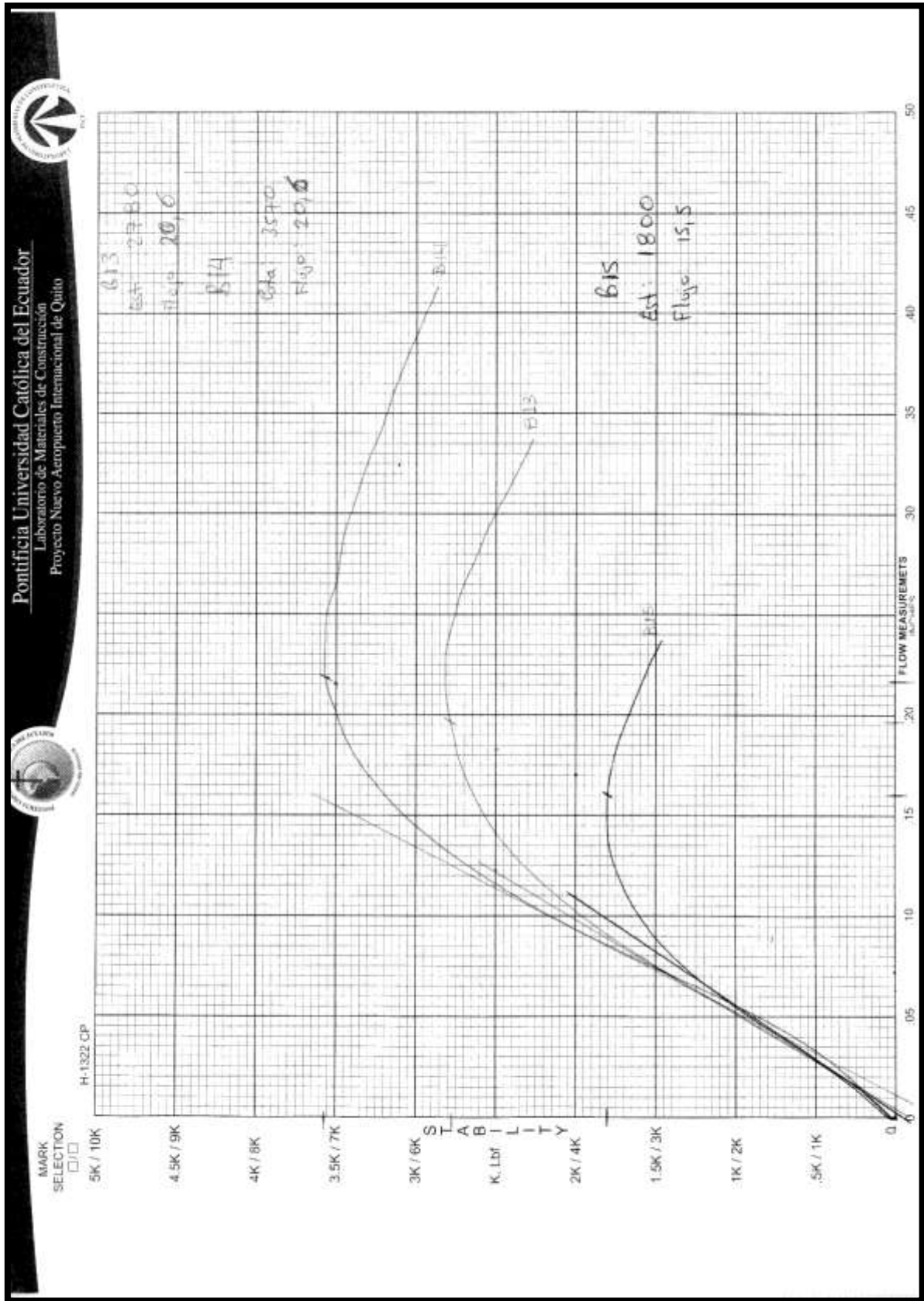
Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 28. Datos de Laboratorio. Ensayo Marshall. Briqueta 10, 11 & 12



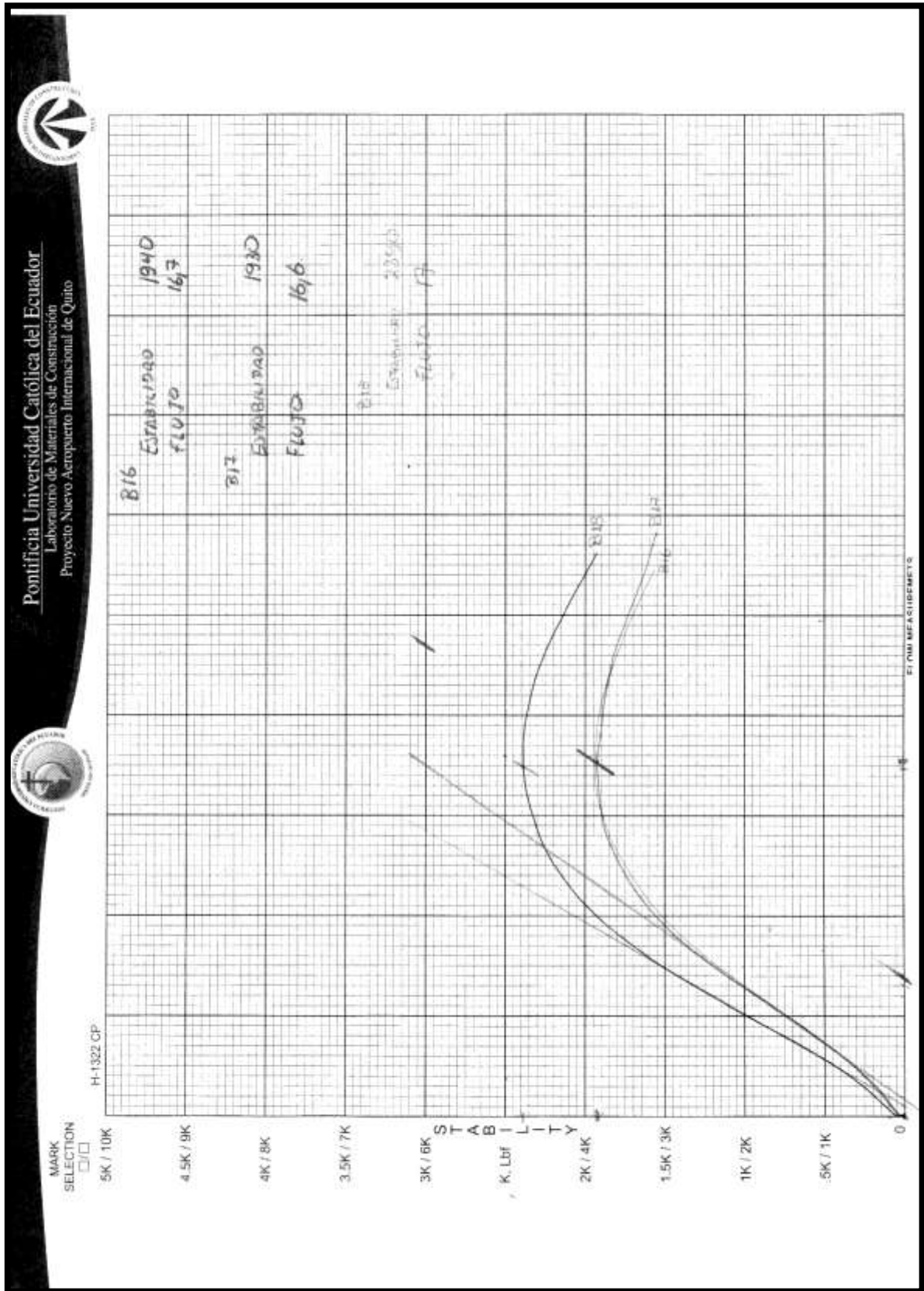
Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 29. Datos de Laboratorio. Ensayo Marshall. Briqueta 13, 14 & 15



Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE

Anexo 30. Datos de Laboratorio. Ensayo Marshall. Briqueta 16, 17 & 18



Fuente: Informe de Laboratorio de Pavimentos-PUCE