ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO

ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
Instituto
Desarrollo Urbano

CONTRATO
IDU-039-2012

OBJETO: CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
- BOGOTÁ -

INFORME FINAL

Bogotá D.C., Mayo 9 de 2014

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1 Objetivos del proyecto 1
1.1.1 Objetivo General 1
1.1.2 Objetivos Específicos 1

1.2 Equipo de trabajo 2
1.2.1 Instituto de Desarrollo Urbano IDU 2
1.2.2 Pontificia Universidad Javeriana 2

2. METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL EXPERIMENTO 3

2.1 Revisión del estado del arte 3
2.1.1 Introducción 3
2.1.2 Mezclas asfálticas tibias 8
2.1.3 Materiales para la elaboración de mezclas asfálticas tibias 14
2.1.4 Caracterización dinámica de mezclas asfálticas 19

2.2 Planteamiento del diseño del experimento 33

2.3 Adquisición de materiales y productos 37

2.4 Planteamiento de la metodología a utilizar 42

3. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES 47

3.1 Caracterización de agregados gruesos 47
3.1.1 Resistencia al desgaste por medio de la máquina de Los Ángeles 48
3.1.2 Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio 49
3.1.3 Peso específico y absorción 50
3.1.4 Evaluación de la resistencia mecánica de los agregados gruesos por el método de 10% de finos 51
3.1.5 Porcentaje de caras fracturadas en los agregados 52
3.1.6 Determinación de la resistencia al desgaste utilizando el equipo Micro-Deval 53
3.1.7 Método para determinar partículas planas, alargadas, o planas y alargadas 54

3.2 Caracterización de agregados finos 55
3.2.1 Determinación del límite líquido de los suelos 56
3.2.2 Determinación del límite plástico e índice de plasticidad 57
3.2.3 Equivalente de arena 58
3.2.4 Determinación del contenido aproximado de materia orgánica 59
3.2.5 Peso específico y absorción de los agregados finos 60
3.2.6 Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio 61
3.2.7 Valor de azul de metileno en agregados finos y el llenante mineral 63
3.2.8 Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados 63
3.2.9 Análisis granulométrico de suelos por tamizado 64

3.3 Caracterización del ligante asfáltico Barrancabermeja 60-70 64
3.3.1 Penetración de los materiales asfálticos 66
3.3.2 Ductilidad de los materiales asfálticos 67
3.3.3 Gravedad específica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos 67
3.3.4 Punto de ablandamiento de materiales bituminosos 68
3.3.5 Método para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional 69
3.3.6 Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento 70
3.3.7 Medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico 71

3.4 Caracterización de los ligantes modificados para la creación de mezclas tibias con los productos I y II 72

4. ELABORACIÓN, CARACTERIZACIÓN, Y EVALUACIÓN DINÁMICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS 75

4.1 Diseños de mezcla 75
4.1.1 Diseño de la mezcla MD12 con cemento asfáltico Barrancabermeja 60-70 78
4.1.2 Análisis de temperaturas de mezcla y compactación para la mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto I 78
4.1.3 Análisis de temperaturas de mezcla y compactación para la mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto II 81

4.2 Caracterización de mezclas asfálticas 84
4.2.1 Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas 85
4.2.2 Resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas a esfuerzo controlado 87

4.2.3 Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta – TSR 90
4.2.4 Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio 91
4.2.5 Extracción, recuperación y evaluación del asfalto extraído 93

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS 97

5.1 Análisis de resultados y recomendaciones de la caracterización de agregados pétreos 97

5.2 Análisis de resultados y recomendaciones de la caracterización de los ligantes asfálticos 102

5.3 Análisis de resultados y recomendaciones de los diseños de mezcla 109

5.4 Análisis de resultados y recomendaciones de la caracterización dinámica de mezclas asfálticas 123
5.4.1 Módulo resiliente 123
5.4.2 Resistencia a la fatiga 138

6. SIMULACIONES COMPUTACIONALES 149

6.1 Variables para el diseño y las simulaciones 150

6.2 Otras variables de diseño para el caso de estructuras flexibles 153

6.3 Simulaciones y dimensiones de las estructuras diseñadas 153

6.4 Conclusiones de la simulación 158

7. VALORACIÓN ECONÓMICA 159

7.1 Análisis de precios unitarios 159

7.2 Estimación Costos estructuras de pavimento 159

8. ELABORACIÓN DE NORMATIVA 175

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 177

10. BIBLIOGRAFÍA **185**

11. ANEXOS **193**

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Tecnologías para la producción de Mezclas Asfálticas Tibias 12

Tabla 2. Especificaciones del Cemento Asfáltico. Fuente: Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras (2007).....14

Tabla 3. Valores del Módulo y εo dependiendo de la Estructura, a 10^6 ciclos 30

Tabla 4. Diseño Final del Experimento.....34

Tabla 5. Granulometría Mezcla Asfáltica tipo MD12 35

Tabla 6. Materiales y productos.....38

Tabla 7. Ensayos para caracterización de Agregados pétreos 43

Tabla 8. Ensayos para caracterización del ligante asfáltico Barrancabermeja 60-70 43

Tabla 9. Ensayos para diseño del ligante modificado con el Producto I y el Producto II ...44

Tabla 10. Ensayos para caracterización del ligante modificado con el Producto I y el Producto II 44

Tabla 11. Ensayos para caracterización y evaluación dinámica de mezclas asfálticas tibias 45

Tabla 12. Precedencia de agregados gruesos 47

Tabla 13. Precedencia de agregados finos 56

Tabla 14. Precedencia del ligante asfáltico 60-70 65

Tabla 15. Descripción y código de ligantes asfálticos modificados para la creación de mezclas tibias 73

Tabla 16. Características diseño de mezcla MD12 Barrancabermeja 60-70 78

Tabla 17. Valores promedio de estabilidad, flujo, vacíos de aire y relación estabilidad/flujo para MD12 con asfalto modificado con el producto I para 90,100, 110, 120, 130, 140 y 150° C.....79

Tabla 18. Resultados promedio de estabilidad, flujo, vacíos de aire y relación estabilidad/flujo para MD12 con asfalto modificado con el producto II para 90,100, 110, 120, 130, 140 y 150° C. 82

Tabla 19. Resultados del ensayo de extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos.....96

Tabla 20. Caracterización de agregados pétreos (gravas).....98

Tabla 21. Caracterización de agregados pétreos (gravas), correspondientes a la gradación de una mezcla MD12.....99

Tabla 22. Caracterización agregados pétreos tamaño de arenas y finos 100

Tabla 23. Caracterización agregados pétreos tamaño de arenas y finos, correspondientes a la gradación de una mezcla MD12 101

Tabla 24. Caracterización del CA 60-70 de Barrancabermeja 102

Tabla 25. Caracterización del CA modificado con el producto I 103

Tabla 26. Caracterización del CA modificado con el producto II 103

Tabla 27. Comparación de los resultados de caracterización del CA 60-70 de Barrancabermeja y los modificados tipo I y II 104

Tabla 28. Caracterización reológica del CA 60-70 de Barrancabermeja.....105

Tabla 29. Caracterización reológica del CA modificado con el producto I 105

Tabla 30. Caracterización reológica del CA modificado con el producto II 106

Tabla 31. Diseño mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 de Barrancabermeja 110

Tabla 32. Resumen de resultados de la evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta – TSR.....111

Tabla 33. Resistencia a la deformación permanente en el intervalo de 105 a 120 minutos 114

Tabla 34. Caracterización reológica del asfalto extraído de la mezcla MD12 envejecida en STOA + LTOA y fabricada con CA modificado con el producto I 122

Tabla 35. Caracterización reológica del asfalto extraído de la mezcla MD12 envejecida en STOA + LTOA y fabricada con CA modificado con el producto II 123

Tabla 36. Resumen de ensayos de módulo resiliente de la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja 124

Tabla 37. Resumen de ensayos de módulo resiliente de la mezcla MD12 fabricada con asfalto modificado tipo I y II 125

Tabla 38. Valores recomendados de módulo resilientes (Mr) para capas de rodadura fabricada con CA 60-70 convencional y modificado con asfalto tipo I y II.....129

Tabla 39. Valores de $\sigma 6$, $\varepsilon 6$ y b para las mezclas analizadas 145

Tabla 40. Valores de $\sigma 6$, $\varepsilon 6$ y b recomendados para mezclas tibias.....146

Tabla 41. Parámetros resultado de este proyecto (Contrato IDU-039-2012 “Caracterización Dinámica de Mezclas Asfálticas Tibias”) para capas de rodadura conformadas por una mezcla tipo MD12 152

Tabla 42. Parámetros mecánicos para las simulaciones de las capas granulares de base y subbase. 152

Tabla 43. Resumen de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la sub base granular 155

Tabla 44. Resumen de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la capa asfáltica 156

Tabla 45. Resumen de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la sub base granular 157

Tabla 46. Resumen de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la capa asfáltica 157

Tabla 47. Precios de materiales para la conformación de las diferentes capas de las estructuras de pavimento 160

Tabla 48. Factores de compactación de las diferentes capas de las estructuras de pavimento 160

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Emisiones en la zona de cargue de mezcla asfáltica en una planta de mezclado. 7

Figura 2. Tecnologías y ventajas medio-ambientales para la producción de Mezclas Asfálticas Asfálticas (Olard y Noan, 2008). 10

Figura 3. Comportamiento del Cemento asfáltico, bajo características de Temperatura y Tiempo.....15

Figura 4. Curva de Wöhler. σ es el esfuerzo cíclico aplicado al material en función del número de ciclos.....19

Figura 5. Deformaciones admisibles a N = 10^6 ciclos en función de la temperatura, para una grava bituminosa 0/20. 21

Figura 6. Diagrama del mecanismo del NAT y principio de tracción indirecta. 22

Figura 7. Nottingham Asphalt Tester PUJ. Fuente: Autores.....23

Figura 8. Esquema de las probetas trapezoidales utilizadas en el banco de fatiga. Fuente: Autores 25

Figura 9. Probetas falladas en el Banco de Fatiga. Fuente: Autores 25

Figura 10. Banco de fatiga de la Universidad Javeriana. Fuente: Autores.....26

Figura 11. Influencia de la frecuencia de las cargas en el Módulo de un material Bituminoso. Fuente: Autores 29

Figura 12. Efecto de la aplicación de una carga rodante sobre un pavimento. 29

Figura 13. Esquematización del ensayo triaxial cíclico, a) al inicio de la prueba, y b) al finalizar la prueba. Fuente: Autores.....31

Figura 14. Curva típica de flujo de una mezcla asfáltica. Fuente: Autores.....32

Figura 15. Curva Granulométrica Mezcla Asfáltica tipo MD12 36

Figura 16. Arenas separadas por tamices.....37

Figura 17. Agregado grueso separado por tamices 37

Figura 18. Grava 1” fuente aluvial río Coello 38

Figura 19. Grava 3/4” fuente peña.....39

Figura 20. Grava 1/2” fuente aluvial río Coello 39

Figura 21. Arena triturada fuente aluvial río Coello 39

Figura 22. Arena natural fuente aluvial río Coello 40

Figura 23. Arena fuente peña 40

Figura 24. Almacenamiento ligante asfáltico Barrancabermeja 60-70 41

Figura 25. Presentación Producto I 42

Figura 26. Presentación Producto II 42

Figura 27. Ensayo de resistencia al desgaste por medio de la máquina de Los Ángeles..49

Figura 28. Ensayo de Sanidad de los agregados gruesos frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio 50

Figura 29. Ensayo para calcular el peso específico y la absorción de los agregados gruesos 51

Figura 30. Ensayo de evaluación de la resistencia mecánica de los agregados gruesos por el método de 10% de finos 52

Figura 31. Ensayo para calcular el porcentaje de caras fracturadas en los agregados 53

Figura 32. Ensayo para determinar la resistencia al desgaste utilizando el equipo Micro-Deval.....54

Figura 33. Ensayo para determinar partículas planas, alargadas, o planas y alargadas ...55

Figura 34. Ensayo para determinar el límite líquido de los suelos 57

Figura 35. Ensayo para determinar el límite plástico e índice de plasticidad 58

Figura 36. Ensayo de equivalente de arena 59

Figura 37. Ensayo para determinar el contenido aproximado de materia orgánica 60

Figura 38. Ensayo para calcular el peso específico y absorción de los agregados finos...61

Figura 39. Ensayo para calcular el peso específico y absorción de los agregados finos...61

Figura 40. Ensayo de Sanidad de los agregados finos frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio 62

Figura 41. Ensayo de Sanidad de los agregados finos frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio 62

Figura 42. Ensayo para determinar el valor de azul de metileno de los agregados finos y el llenante mineral 63

Figura 43. Ensayo para determinar el contenido de vacíos en agregados finos no compactados 64

Figura 44. Ensayo de penetración de los materiales asfálticos.....66

Figura 45. Ensayo de ductilidad de los materiales asfálticos 67

Figura 46. Ensayo para determinar la gravedad específica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos 68

Figura 47. Ensayo para determinar el punto de ablandamiento de materiales bituminosos 69

Figura 48. Ensayo para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional 70

Figura 49. Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento.....71

Figura 50. Ensayo para la medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico 72

Figura 51. Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento para ligante modificado con el producto II a).....73

Figura 52. Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento para ligante modificado con el producto II b).....74

Figura 53. Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento para ligante modificado con el producto II c).....74

Figura 54. Ensayo de resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall 77

Figura 55. Ensayo de resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall 77

Figura 56. Estabilidad Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto I a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C 79

Figura 57. Flujo Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto I a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C 80

Figura 58. Vacíos de aire Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto I a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C 80

Figura 59. Relación Estabilidad/Flujo Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto I a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C 81

Figura 60. Estabilidad Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto II a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C 82

Figura 61. Flujo Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto II a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C 83

Figura 62. Vacíos de aire Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto II a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C 83

Figura 63. Relación Estabilidad/Flujo Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto II a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C 84

Figura 64. Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas 86

Figura 65. Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas 86

Figura 66. Nottingham Asphalt Tester (NAT) 88

Figura 67. Ensayo de resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas a esfuerzo controlado 89

Figura 68. Ensayo de resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas a esfuerzo controlado 89

Figura 69. Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta – TSR 90

Figura 70. Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta – TSR 91

Figura 71. Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio.....92

Figura 72. Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio.....92

Figura 73. Ensayo de extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos 94

Figura 74. Ensayo de extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos 94

Figura 75. Ensayo para la recuperación del asfalto de una solución utilizando el rotavapor 95

Figura 76. Ensayo para la medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico 95

Figura 77. Curva de viscosidad CA 60-70 de Barrancabermeja 107

Figura 78. Curva de viscosidad CA modificado con el producto I 108

Figura 79. Curva de viscosidad CA modificado con el producto II 108

Figura 80. Curva de viscosidad de los asfaltos analizados 109

Figura 81. Resistencia a la tensión seca (azul) y húmeda (verde) de las mezclas asfálticas 112

Figura 82. Relación de resistencia a la tensión (TSR) de las mezclas asfálticas.....113

Figura 83. Velocidad de deformación de las mezclas asfálticas en el intervalo de 105 a 120 minutos 115

Figura 84. Deformación total al final del ensayo de las mezclas asfálticas.....116

Figura 85. Influencia de la temperatura de compactación sobre la relación E/F en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto I 117

Figura 86. Influencia de la temperatura de compactación sobre los vacíos con aire en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto I 117

Figura 87. Influencia de la temperatura de compactación sobre la estabilidad en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto I 118

Figura 88. Influencia de la temperatura de compactación sobre el flujo en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto I 118

Figura 89. Influencia de la temperatura de compactación sobre la relación E/F en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto II 119

Figura 90. Influencia de la temperatura de compactación sobre los vacíos con aire en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto II 119

Figura 91. Influencia de la temperatura de compactación sobre la estabilidad en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto II 120

Figura 92. Influencia de la temperatura de compactación sobre el flujo en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto II 120

Figura 93. Comparación de la Influencia de la temperatura de compactación sobre los vacíos con aire en las mezclas MD12 con CA modificado los dos productos.....121

Figura 94. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 de Barrancabermeja - STOA 124

Figura 95. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 con CA 60-70 de Barrancabermeja (STOA y LTOA).....124

Figura 96. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 con CA modificado con el producto I – STOA 127

Figura 97. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 con CA modificado con el producto II – STOA 127

Figura 98. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 fabricada con CA modificado con los productos I y II - (STOA) 127

Figura 99. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 con CA modificado con el producto I - (STOA y LTOA) 128

Figura 100. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 con CA modificado con el producto II - (STOA y LTOA) 128

Figura 101. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 fabricada con CA modificado con los productos I y II, y CA 60-70 de Barrancabermeja - (STOA).....128

Figura 102. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 fabricada con CA modificado con los productos I y II, y CA 60-70 de Barrancabermeja - (LTOA). 129

Figura 103. Comparación de la variación del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) para todas las mezclas a 10° C 132

Figura 104. Comparación de la variación del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) para todas las mezclas a 20° C 133

Figura 105. Comparación de la variación del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) para todas las mezclas a 30° C 134

Figura 106. Comparación de la variación del Módulo Resiliente con la temperatura (T) para todas las mezclas a 2,5 Hz.....135

Figura 107. Comparación de la variación del Módulo Resiliente con la temperatura (T) para todas las mezclas a 5 Hz.....136

Figura 108. Comparación de la variación del Módulo Resiliente con la temperatura (T) para todas las mezclas a 10 Hz.....137

Figura 109. Fatiga MD12 con CA 60-70 de Barrancabermeja – STOA.....140

Figura 110. Fatiga MD12 con CA 60-70 Barrancabermeja – LTOA 140

Figura 111. Fatiga MD12 con CA 60-70 Barrancabermeja – STOA y LTOA 141

Figura 112. Fatiga MD12 con CA modificado con el producto I – STOA 141

Figura 113. Fatiga MD12 con CA modificado con el producto I – LTOA.....142

Figura 114. Fatiga MD12 con CA modificado con el producto I – STOA y LTOA 142

Figura 115. Fatiga MD12 con CA modificado con el producto II – STOA 143

Figura 116. Fatiga MD12 con CA modificado con el producto II – LTOA.....143

Figura 117. Fatiga MD12 con CA modificado con el producto II – STOA y LTOA 144

Figura 118. Fatiga MD12 fabricada con CA 60-70 y CA modificados con productos I y II – STOA.....144

Figura 119. Fatiga MD12 fabricada con CA 60-70 y CA modificados con productos I y II – LTOA 145

Figura 120. Comparación del Número de Ciclos a la Falla en función del esfuerzo máximo aplicado, para todas las mezclas a 2,5 Hz y 20° C 147

Figura 121. Comparación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la sub base granular), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 1%.....162

Figura 122. Comparación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la sub base granular), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 2%.....163

Figura 123. Comparación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la sub base granular), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 3%.....164

Figura 124. Comparación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la capa asfáltica), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 1% 165

Figura 125. Comparación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la capa asfáltica), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 2% 166

Figura 126. Comparación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la capa asfáltica), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 3% 167

Figura 127. Comparación de la variación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la sub base granular), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 1% 168

Figura 128. Comparación de la variación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la sub base granular), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 2% 169

Figura 129. Comparación de la variación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la sub base granular), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 3% 170

Figura 130. Comparación de la variación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la capa asfáltica), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 1% 171

Figura 131. Comparación de la variación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la capa asfáltica), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 2% 172

Figura 132. Comparación de la variación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la capa asfáltica), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 3% 173

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos del proyecto

1.1.1 Objetivo General

- Evaluar las propiedades mecánicas y dinámicas de mezclas asfálticas tibias elaboradas con dos (2) productos para reducir la temperatura de producción y compactación, y analizar la respuesta ante solicitaciones de cómo influyen dichas propiedades sobre el dimensionamiento, la capacidad estructural y la durabilidad de pavimentos flexibles.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar ensayos de caracterización sobre los materiales que conformarán las mezclas asfálticas tibias (agregados pétreos y materiales bituminosos) del estudio. Proponer o adoptar modificaciones sobre las condiciones de los ensayos de caracterización considerando la naturaleza de las mezclas asfálticas tibias.

- Realizar ensayos mecánicos y dinámicos (módulos y leyes de fatiga) sobre las mezclas tibias y sobre la mezcla asfáltica en caliente de control o referencia.

- Realizar ensayos de evaluación del desempeño mecánico de las mezclas asfálticas (envejecimiento, daño por humedad).

- Definir los productos para el diseño de las mezclas asfálticas tibias a estudiar, procurando evaluar los diferentes tipos de tecnologías existentes.

- Definir, luego de ejecutar los ensayos dinámicos, la respuesta de las mezclas asfálticas tibias teniendo en cuenta la influencia de las solicitaciones de carga.

- Analizar y evaluar el comportamiento del módulo dinámico, leyes de fatiga, y resistencia a la deformación plástica, de las mezclas asfálticas tibias estudiadas, y presentar las opciones de mejora, adopción y adaptación a la normativa correspondiente, si hubiese lugar a esta.

- Generar documentos técnicos, y divulgar los resultados al interior del IDU y en eventos técnicos.
- Incrementar el estado del conocimiento en el gremio de la ingeniería mediante la transferencia de conocimiento.

1.2 Equipo de trabajo

1.2.1 Instituto de Desarrollo Urbano IDU

El equipo de trabajo que coordinó la ejecución del presente contrato de Consultoría Por parte del Instituto de Desarrollo Urbano IDU fue:

- Julio Cesar Montoya Sierra, Director Técnica de Estratégica.
- Sara Del Pilar Álzate Díaz, Directora Técnica de Estratégica.
- Sully Magalis Rojas Bayona, Directora Técnica de Estratégica (Actual).
- Diana Patricia Beltrán Cruz, coordinadora contrato de Consultoría.

1.2.2 Pontificia Universidad Javeriana

El equipo técnico que participó en la ejecución del presente contrato de Consultoría por parte de Pontificia Universidad Javeriana fue:

- Fredy Alberto Reyes Lizcano, Director del Proyecto.
- Manuel Santiago Ocampo Terreros, Especialista en Pavimentos.
- Hugo Alexander Rondón Quintana, Especialista en Pavimentos.
- Hermes Ariel Vacca Gámez, Ingeniero Auxiliar.
- Oscar Giovanny Angarita Ribero, Ingeniero Auxiliar.

2. METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL EXPERIMENTO

2.1 Revisión del estado del arte

2.1.1 Introducción

La mezcla asfáltica en caliente (HMA por las siglas en inglés de *Hot Mix Asphalt*), la cual es una combinación de agregados y asfalto mezclados en caliente, ha sido el material para pavimentación más utilizado en Colombia por su menor costo de construcción, menores costos de rehabilitación, facilidad de colocación, entre otros. De acuerdo con el Instituto de Desarrollo Urbano IDU (2013b), el precio unitario por metro cúbico (incluido suministro, extendido, compactación y nivelación) de mezclas asfálticas tipo MD10, MD12 y MD20 oscila entre $ 461,367.06 y $ 516,682.48; para el caso del concreto hidráulico (con módulos de rotura entre 4.1 MPa y 5.0 MPa), el m3 oscila entre $488,211.03 y $555,201.03 sin incluir el costo de las juntas, curado y acero (pasadores o dovelas y barras de anclaje). Adicionalmente, en el mundo y en Colombia, han sido más utilizadas las mezclas asfálticas que los concretos hidráulicos. ASOPAC (2004) (Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia), por ejemplo menciona, que la mayor parte de las estructuras que se diseñan y construyen en Colombia y el mundo son flexibles o cuentan con rodaduras o superficies construidas con capas asfálticas. Según ellos, más del 90% de las vías en el mundo, y más del 65% de las vías en Bogotá D.C., están construidas en pavimento asfáltico.

Otros aspectos por los cuales son más utilizadas las mezclas asfálticas en comparación con el concreto hidráulico se enuncian a continuación:

- En Colombia, en temas económicos, tradicionalmente en proyectos de infraestructura vial se piensa a corto plazo y no a largo plazo, es decir, el criterio de escogencia de las mejores alternativas de construcción depende principalmente de cuál es el menor costo el día de hoy. Lo anterior es entendible en la medida en que existen muy pocos recursos económicos en el país para la construcción y mantenimiento de vías (ver estado de la red vial nacional y otros datos importantes en el ANEXO A).
- En la mayor parte de los proyectos viales, la entrega de obras con capas asfálticas es menor a aquellas construidas con concreto hidráulico.
- A pesar que son mayores las obras de mantenimiento necesarias en capas asfálticas, las mismas son de menor costo y más fáciles de ejecutar en la mayoría de los casos que aquellas que se tienen que ejecutar sobre concreto hidráulico.
- Los agrietamientos superficiales son más fáciles de reparar y de menor costo.

- El material dúctil se acomoda mejor a las imperfecciones o deformaciones de las capas subyacentes.
- El rejuvenecimiento de capas asfálticas solo necesita de la colocación de una sobrecarpeta de pequeño espesor sobre la envejecida.
- El fresado de éste material es más sencillo y rápido que la demolición de concreto hidráulico.
- A la fecha, este material es más fácil de reutilizar y tiene mayores aplicaciones en proyectos viales que utilicen materiales reciclados.

Debido a que la HMA es una mezcla que debe ser elaborada y colocada en caliente, esta se convierte en una fuente de emisiones atmosféricas que generan problemas de salud, en particular varios tipos de cáncer, problemas respiratorios y dermatitis. En su etapa de fabricación, las fuentes principales de emisión que se dan en una planta asfáltica son los secadores de agregados, los tambores mezcladores, y los contenedores, los cuales emiten material particulado a la atmósfera, como polvo, humo (conocido como humo azul), vapores, y otros contaminantes gaseosos; otras fuentes de emisión en la planta asfáltica son los silos de almacenamiento del agregado y tanques del asfalto, la operación de los vehículos de transporte y carga, los sistemas de transporte de material, los puntos de acopio de los granulares, entre otros (Gandhi, 2008).

Las principales emisiones generadas por las plantas productoras de mezcla asfáltica son (Ortega, 2010):

- Monóxido de carbono (CO).
- Azufre (S).
- Óxidos de nitrógeno (NOx).
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos.
- Fenol.
- Tolueno.
- Xileno.
- Nafta.
- Estireno.
- Formaldehído.
- Benceno.
- Arsénico.
- Cadmio.

La liberación de estos contaminantes hacia la atmósfera, resulta de los siguientes procesos (Ortega, 2010):

- La reacción del nitrógeno y el oxígeno en el secador genera las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) en la zona de combustión.
- Las emisiones de dióxido de sulfuro (SO_2) son producto de la oxidación del sulfuro contenido en los compuestos del combustible.
- Las emisiones de partículas resultan de la volatilización de materiales que posteriormente son condensados y de la manipulación de los mismos.
- Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) son el subproducto de una combustión incompleta.

Los efectos inmediatos generados por una alta exposición a los vapores del asfalto se relacionan con (Ortega, 2010):

- Dolores de cabeza.
- Erupciones de la piel.
- Fatiga.
- Irritación de los ojos y de la garganta.
- Mareos.
- Náuseas.
- Tos constante.

Con el paso del tiempo, las personas expuestas repetidamente a las emisiones producidas por el asfalto, como los operadores de plantas, muestran un incremento en el riesgo de contraer cáncer de pulmón, de esófago, de piel, de vejiga y hasta leucemia (Ortega, 2010).

El tolueno, la nafta, el benceno y el arsénico, son compuestos relacionados directamente con problemas cancerígenos en el hombre, mientras que el fenol y el estireno tienen efectos tóxicos sobre el sistema nervioso central. Se debe tener especial cuidado con el formaldehido y el arsénico, pues estudios a nivel mundial han observado depósitos en niveles peligrosos hasta a 3 km de distancia de donde se ubica la planta productora de asfalto (Ortega, 2010).

Las “PM-10”, que son partículas cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10 µm, al ser inhaladas penetran con facilidad al sistema respiratorio causando efectos adversos a la salud de las personas, por viajar más profundamente en los pulmones y por estar compuestas de elementos que son más tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos que causan cáncer). En general, estas partículas están relacionadas con enfermedades respiratorias, problemas cardiovasculares y cáncer de pulmón. Las emisiones contaminantes provenientes de las plantas no solo tienen efectos directos sobre la salud

humana, sino también presentan otras consecuencias como la destrucción del medio ambiente y de la naturaleza que se encuentra alrededor (Ortega, 2010).

Las emisiones generadas por las plantas asfálticas se clasifican en dos categorías principales: emisiones visibles y emisiones invisibles (Sutton, 2002). Hay dos tipos de emisiones visibles: las primeras son polvos fugitivos generados en los puntos de acopio de los granulares, por los vehículos de transporte y carga, y los sistemas de transporte de material (p. ej. bandas transportadoras). Otro tipo de emisión fugitiva visible contiene hidrocarburos más pesados (compuesto de moléculas de hidrógeno y carbono) que fácilmente se evaporizan a temperaturas cercanas a los 150° C (300° F); estos se condensan en el aire del ambiente y se adsorben a las partículas de polvo y agua. Estas emisiones tienen el olor característico del combustible usado por la planta.

Las emisiones invisibles consisten principalmente de compuestos orgánicos volátiles no condensables (VOCs por las siglas en inglés de *Volatile Organic Compounds*) que participan en la producción de ozono a nivel del suelo (smog o niebla tóxica). Los VOCs son hidrocarburos que fácilmente se vaporizan a temperatura y presión ambiente y son producidos durante la combustión o descomposición de hidrocarburos más complejos. De acuerdo con resultados de pruebas realizadas por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos citado por Sutton (2002), aproximadamente el 94 por ciento de los compuestos presentes en el humo azul son VOCs. Su presencia es motivo de preocupación debido a su contribución a la contaminación del aire. Estos compuestos reaccionan con los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar lo que forma smog fotoquímico, además de atrapar calor contribuyendo al “efecto invernadero”. El porcentaje restante de los compuestos presentes en el humo azul se clasifican como contaminantes peligrosos del aire (HAPs por las siglas en inglés *Hazardous Air Pollutants*), de los cuales se conocen o se sospecha que son peligrosos para el ser humano y el medio ambiente (Sutton, 2002).

Entre las emisiones visibles generadas por una planta asfáltica, y de mayor preocupación, está el humo azul (Figura 1). El humo azul es un aerosol capaz de viajar largas distancias antes de que se disipe lo suficiente y se convierta en invisible. En la Figura 1 se observa el humo azul levantarse desde una volqueta en la zona de cargue de una planta asfáltica. La ráfaga de humo en la parte superior de los silos de almacenamiento de la mezcla asfáltica es otro ejemplo típico de emisión de este contaminante atmosférico. Se ha encontrado que éste tipo de emisión contiene material particulado orgánico (basado en carbono) e inorgánico. Otros análisis han revelado la presencia de monóxido de carbono (CO); sin embargo, los hidrocarburos siguen siendo el componente predominante en el humo azul. Estos hidrocarburos son caracterizados como Componentes Orgánicos Totales (TOCs por las siglas en inglés de *Total Organic Compounds*). El humo azul se crea en el proceso de vaporización de la fracción ligera de la mezcla asfáltica durante su

producción o almacenamiento, y está influenciado por las condiciones atmosféricas encontrándose que áreas con baja humedad relativa son favorables a la formación del mismo. Adicional a esto, la utilización de algunos aditivos en la creación de mezclas asfálticas, el uso de asfaltos reciclados, el diseño del tambor mezclador, y el nivel de exposición con el aire, son algunos de los factores que aumentan su generación (Sutton, 2002).

Figura 1. Emisiones en la zona de cargue de mezcla asfáltica en una planta de mezclado. Fuente: Sutton (2002)

Se ha encontrado que las tasas de emisión varían con la volatilidad ligante asfáltico y la temperatura de mezclado. Ensayos han revelado que las tasas de emisión de contaminantes TOC son diferentes en los silos de almacenamiento y en las zonas de cargue, siendo casi tres veces más alta durante el llenado de los silos. Las emisiones de materiales particulados totales son algún tanto más altas en las operaciones de llenado de los silos, y para el material orgánico particulado y CO ligeramente altas durante el cargue de la mezcla en los camiones.

De acuerdo con la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (Myers *et al*., 2000) esta estima que, en promedio, una planta asfáltica continua produce en un año cerca de 200.000 toneladas de mezcla asfáltica, con lo cual podría emitir a la atmósfera durante ese periodo cerca de 13 toneladas de monóxido de carbono (CO), 5 toneladas de compuestos orgánicos volátiles, 0,4 toneladas de óxido de sulfuro, 2,9 toneladas de óxidos de nitrógeno, y cerca de 0,65 toneladas del total de contaminantes peligrosos del aire.

Con el objeto de reducir los requerimientos energéticos y lograr beneficios ambientales, las entidades estatales encargadas de la construcción de vías, los centros de

investigación en materiales para pavimentos, y los gremios asfalteros, por décadas han estado investigando la manera de reducir las temperaturas de mezclado y compactación de las mezclas asfálticas, sin desmejorar sus propiedades. Producto de esto se han desarrollado las mezclas asfálticas tibias y frías.

De acuerdo con Gandhi (2008) hasta el momento, la mayoría de los productos utilizados para la fabricación de las mezclas asfálticas frías no permiten lograr una calidad igual o mejor a la de las mezclas en caliente. Las mezclas asfálticas elaboradas con emulsiones normalmente resultan con un alto contenido de vacíos, requieren largos tiempos de curado, y funcionan únicamente con gradaciones abiertas y gruesas. Los ligantes que son adicionados para disminuir su viscosidad (p. ej. Kerosene) tienen implicaciones ambientales desfavorables debido a los químicos volátiles, y demandan mayores tiempos de curado. Los asfaltos espumados no requieren largos tiempos de curado y son adecuados para labores de reciclaje; sin embargo, se ha encontrado que estos solo recubren en forma adecuada la fracción fina del agregado. Otro problema con estos métodos es que el alto costo en su elaboración no compensa el ahorro que se obtiene en energía. Por lo tanto, y debido a que con las mezclas asfálticas frías no se ha logrado el mismo desempeño de las calientes, hasta el momento estas no se han considerado adecuadas para sustituirlas como el principal material de pavimentación.

Las mezclas asfálticas tibias (WMA por sus siglas en inglés de *Warm Mix Asphalt*) es una mezcla asfáltica que es mezclada y compactada a temperaturas inferiores a la de una HMA; esto es, temperaturas de mezclado entre 100° C y 140° C (212° F a 280° F) comparadas con las temperaturas entre 150° C y 180° C (300° F a 350° F) que requiere una HMA (referencias). Por otro lado, el incremento en los costos de los combustibles, el calentamiento global, y las cada vez más rigurosas regulaciones ambientales, han despertado hoy en día el interés por las tecnologías que permitan la elaboración de mezclas asfálticas tibias, como una forma de economizar los recursos energéticos y minimizar las emisiones asociadas con la producción de mezclas asfálticas en caliente.

2.1.2 Mezclas asfálticas tibias

El protocolo de Kyoto sobre el cambio climático, el cual fue inicialmente adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kyoto – Japón, acordó reducir las emisiones de seis gases con el fin de hacerle frente al efecto invernadero, el cual está causando el calentamiento global. Estos gases, generados por la actividad humana, son: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990.

En el 1997, en Europa se inició la búsqueda de la implementación de las mezclas asfálticas tibias, año en el que se adoptó el protocolo de Kyoto por la Comunidad Económica Europea, con el fin de lograr una conciencia ambiental sobre una estricta reducción de las emisiones atmosféricas (Calderon, 2011).

Es por esto que se han ido elaborado productos y metodologías capaces de mejorar la elaboración de mezclas asfálticas en cuanto a sus propiedades reológica, físicas y mecánicas, reduciendo el impacto al medio ambiente por emisión de gases contaminantes y minimizando el consumo elevado de combustible (Montejo, 2006). En este sentido, las mezclas asfálticas tibias resultan ser una alternativa viable para reducir, inicialmente, entre un 20% a un 35% el consumo de combustibles requeridos en la fabricación de las mismas, esperándose una reducción a largo plazo del 50% (Blades, 2009); lo anterior permitirá generar un ahorro en el costo de combustible superior al 40% (Estakhri *et al*., 2009). No existen estudios puntuales donde se haya cuantificado la reducción del consumo de combustible en las plantas asfálticas debido a la reducción en las temperaturas de mezclado y la compactación; sin embargo, se estimó en algunos ensayos de campo que es posible lograr una reducción en el consumo de combustible de 10% a 30%, dependiendo de la cantidad de la temperatura de producción que se logre reducir (Kristjansdottir, 2006; The Asphalt Pavement Association of Oregon, 2003). Esta reducción en combustible se debe a la menor temperatura requerida para la calefacción de los agregados pétreos y del ligante, ya que las temperaturas de mezclado y compactación son menores, y éstas dependerán de la tecnología empleada y de las condiciones ambientales.

Las mezclas asfálticas convencionales (mezclas asfálticas en caliente), las cuales son usadas ampliamente alrededor del mundo, requiere mayores temperaturas para su elaboración y colocación, lo que ha venido generando efectos negativos al medio ambiente. Lo anterior ha motivado a los investigadores y entidades estatales a desarrollar mezclas asfálticas en frío; estas mezclas contribuyen satisfactoriamente a reducir los efectos negativos causados por las mezclas calientes al ambiente, pero su uso se limita solamente a vías con volúmenes de tránsito medianos a bajos (Ministerio de obras públicas de Panamá, 2002). Es así como se ha continuado en esta investigación para encontrar tecnologías y/o metodologías que permitan que el ligante asfáltico logre cubrir todo el agregado a menores temperaturas; es decir, que presente una baja viscosidad y que se pueda utilizar para todo tipo de tráfico (Blades, 2009). Este tipo de mezcla, la cual fue desarrollada hace un poco más de diez años, se conoce como Mezcla Asfáltica Tibia o WMA (You y Goh, 2008).

La utilización de estas tecnologías garantiza la elaboración y puesta en obra de mezclas asfálticas a temperaturas, por lo general, entre 30° C y 50° C (55° F a 85° F) por debajo

de las empleadas para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente (HMA) y ligeramente por encima de los 100° C (D'Angelo *et al*., 2008), utilizándose los mismos asfaltos y dosificaciones que en una mezcla asfáltica en caliente, empleándose las mismas plantas de mezclado existentes, y conservando la mayor parte de las propiedades mecánicas requeridas para una mezcla asfáltica convencional. Como se muestra en la Figura 2, los beneficios que se logran con una mezcla asfáltica tibia están la reducción en el consumo de energía (lo que se traduce en reducción de costos), reducción considerable en las emisiones de gases asociadas a la fabricación y colocación de la mezcla asfáltica, y facilidad para compactar empleando menos esfuerzos y menor temperatura, obteniendo valores de densidades muy cercanos a la densidad de diseño, lo cual ofrece la posibilidad de obtener mezclas asfálticas de alto desempeño, y facilidad para que la mezcla asfáltica sea transportada a grandes distancias de donde es producida (Biro *et al*., 2009; Tao, Ni *et al*., 2009).

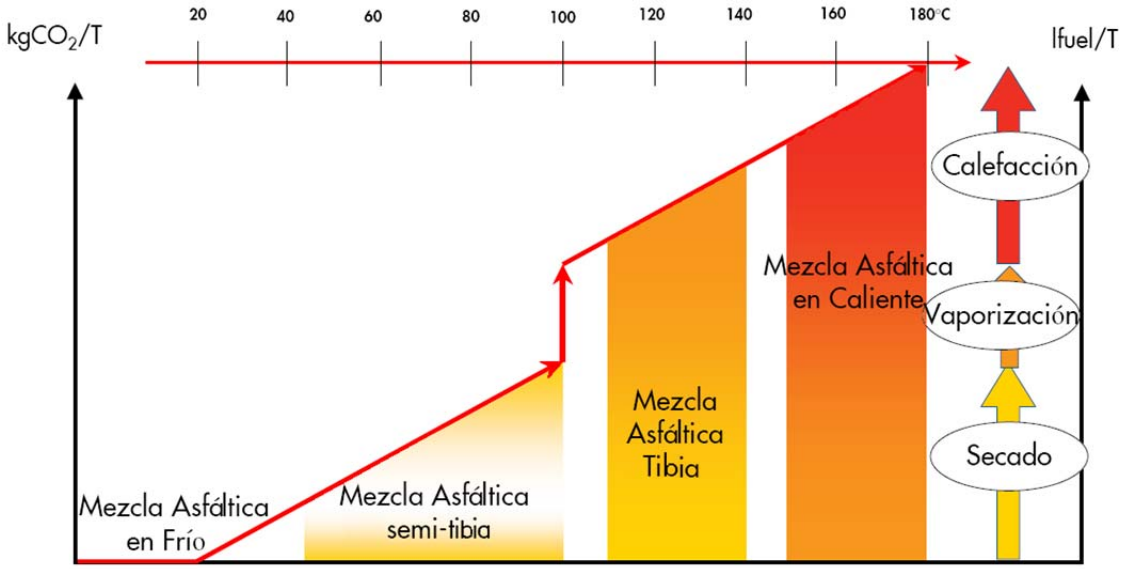


Figura 2. Tecnologías y ventajas medio-ambientales para la producción de Mezclas Asfálticas Asfálticas (Olard y Noan, 2008).

Con este fin, a la fecha se han desarrollado diversas tecnologías para modificar el ligante a utilizar en las mezclas asfálticas que se exigen hoy en día. Los modificadores más comunes se dividen en: aditivos a base agua, aditivos orgánicos, tecnologías de secuencia de bitúmenes duros y blandos (Gonzalez *et al*., 2009), y tecnologías con aditivos químicos (Silva *et al*., 2010) .Con la implementación de este tipo de tecnologías más limpias y ambientalmente sostenibles se ha logrado una reducción de CO_2, SO_2, compuestos orgánicos volátiles, CO, NOx, y cenizas, de 30%-40%, 35%, 50%, 10%-30%, 60-70%, y 20%-25%, respectivamente (Estakhri, *et al*., 2009). Las mezclas asfálticas

tibias apuntan a este tipo de tecnologías, ya que sus temperaturas de elaboración y compactación oscilan entre 90 y 130° C, y 100 y 135° C, respectivamente (Gandhi, 2008; Hearon y Diefenderfer, 2009; Silva, *et al*., 2010; Tao, *et al*., 2009; You y Goh, 2008) lo que es consistente con lo mencionado por Biro *et al.* (2009), donde documentan que la temperatura de fabricación de una mezcla asfáltica tibia se encuentra en un intervalo entre 20 y 55° C por debajo de la requerida para elaborar mezclas asfálticas en caliente (HMA), utilizando los mismos asfaltos y dosificación, y conservando las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica convencional. Según You y Goh (2008), el ahorro de energía y la reducción de emisiones durante el proceso de fabricación de mezclas WMA, en comparación con mezclas HMA, es aproximadamente del 30%.

Algunas de las ventajas en el empleo de las mezclas asfálticas tibias, comparado con la utilización de las mezclas asfálticas calientes, son:

- Extensión y compactación en ambientes más fríos (Hearon y Diefenderfer, 2009; Ran *et al*., 2010; You y Goh, 2008).
- Reducen el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes en planta (You y Goh, 2008). Lo anterior generaría que las plantas de producción de mezcla se puedan ubicar en lugares más cercanos a las ciudades (Dosh, 2009).
- Ahorro en costo de combustibles cercano al 40%; lo cual dependerá del costo del combustible en el país donde se está fabricando la mezcla.
- Reducción del desgaste de las plantas (Biro, *et al*., 2009; Gandhi, 2008; Hurley y Prowell, 2006).
- Menor oxidación y envejecimiento del ligante asfáltico a corto plazo, debido a las menores temperaturas durante el proceso de fabricación de la mezcla. Lo anterior puede incidir en un aumento en la resistencia a fatiga y al agrietamiento por bajas temperaturas (Dosh, 2009; Estakhri, *et al*., 2009; Gandhi, 2008; Hearon y Diefenderfer, 2009; Ran, *et al*., 2010).
- Disminución de la viscosidad del ligante asfáltico (You y Goh, 2008), lo cual mejora la trabajabilidad de la mezcla asfáltica, y ofrece la oportunidad de dar una apertura más pronta de la vía pavimentada al tráfico (Dosh, 2009; Estakhri, *et al*., 2009; Tao, *et al*., 2009; You y Goh, 2008).
- La reducción de las temperaturas de mezclado y compactación potencian la utilización de estas mezclas para la construcción de capas asfálticas delgadas(Tao, *et al*., 2009).
- Ofrece la posibilidad de tener mayores distancias o tiempos de transporte de la mezcla previo a la extensión y compactación (Dosh, 2009).

Entre las desventajas en el empleo de las mezclas asfálticas tibias, comparada con la utilización de las mezclas asfálticas calientes, se tiene:

- Escaso conocimiento de su comportamiento mecánico y reológico debido a la reciente utilización (Vaitkus *et al*., 2009).
- Por lo general, las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas WMA son menores en comparación con las de mezclas HMA (Vaitkus, *et al*., 2009), las cuales dependen del tipo de aditivo utilizado o del método de fabricación.
- En algunas ocasiones, el ahorro de combustibles y energía no se ve compensado por el costo extra que se genera por la producción del ligante y los aditivos necesarios para la mezcla WMA (Biro, *et al*., 2009; Vaitkus, *et al*., 2009).

Es importante aclarar que las desventajas aquí listadas que traen consigo las mezclas asfálticas tibias están relacionadas a la insuficiente investigación y una duración relativamente corta de su uso (Vaitkus, *et al*., 2009).

Como se mencionó anteriormente, actualmente se encuentran disponibles en el mercado diferentes tecnologías para reducir la temperatura de mezclado y compactación en mezclas asfálticas, las cuales van desde sistemas simples que inyectan agua hasta sistemas complicados que involucran cambios costosos en las plantas asfálticas. Estas tecnologías están en función de los procesos y/o de los productos utilizados, y tienen la cualidad de reducir hasta en un veinte por ciento (20%) las temperaturas a las cuales una mezcla asfáltica en caliente es elaborada y compactada, sin alterar sus características mecánicas (Perkins, 2009). Estas tecnologías se clasifican en:

- Procesos que usan agua.
- Procesos que usan agua y aditivos.
- Procesos que usan alguna forma de aditivo químico u orgánico.

Todas estas tecnologías buscan disminuir la viscosidad de la mezcla asfáltica modificando la fluidez del ligante o generando un efecto de espumado en la mezcla. Algunas de las tecnologías encontradas en la literatura para la producción de mezclas asfálticas tibias se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tecnologías para la producción de Mezclas Asfálticas Tibias

Tecnología/Proceso	Tipo Aditivo	Producto	Fabricante
Generan espuma	A base de agua	Aquablack WMA	Maxam Equipment Inc
Generan espuma	A base de agua	Double Barrel Green®	Astec Industries
Generan espuma	A base de agua	Low Energy Asphalt LEA	Fairco, EIFFAGE Travaux Publics, LEA-CO
Generan espuma	A base de agua	Ultrafoam GX™	Gencor Industries
Generan espuma	-	WAM Foam	Shell Bitumen
Generan espuma	A base de agua	Warm Mix Asphalt System	Terex Roadbuilding

Tecnología/Proceso	Tipo Aditivo	Producto	Fabricante
Generan espuma	A base de agua	Green Machine	Gencor Industries
Generan espuma	-	LEAB®	BAM
Generan espuma	Generador de agua	Advera	PQ Corporation
Generan espuma	Generador de agua	Aspha-Min	Eurovia Services, GmbH
Generan espuma	Químico	Low Emission Asphalt	McConnaughay Technologies
Emulsifica el asfalto	Químico	Evotherm®	MeasWestvaco Asphalt Innovations
Emulsifica el asfalto	Químico	CECABASE RT®	Arkema Group
Mejorador de Fluidez	Químico	Rediset™ WMX	Akzo Nobel
Mejorador de Fluidez	Orgánico	Sasobit®	Sasol Wax Americas, Inc
Mejorador de Fluidez	Orgánico	Asphantan-B	Romonta GmbH
Mejorador de Fluidez	Orgánico	Licomont BS-100	Clariant International Ltd

Las tecnologías a base de agua con proceso de espuma, siendo de esta tecnología el mayor grupo de aditivos, implica la adición de pequeñas cantidades de agua al bitumen caliente en el proceso de mezclado. En este proceso, una parte de agua se evapora y es atrapada dentro del ligante, generando un gran volumen de espuma que aumenta el volumen del ligante y reduciendo la viscosidad del mismo. Esta tecnología proporciona una energía adicional al sistema logrando un mejor cubrimiento de los agregados (Silva, *et al*., 2010).

Los aditivos orgánicos, los cuales generalmente están compuestos por ceras, se adicionan al ligante cuando la temperatura de éste sube por encima de la temperatura de fusión de la cera empleada. Estos aditivos usualmente logran que la viscosidad del Ligante baje (European Asphalt Pavement Association EAPA, 2010); a medida que la mezcla se enfría, el aditivo se solidifica en partículas de tamaño microscópico y se distribuye uniformemente, aumentando la rigidez del ligante, el cual obtiene un comportamiento similar al de una mezcla reforzada con fibras.

Los aditivos químicos no utilizan espuma, ni reducen la viscosidad del ligante para bajar la temperatura de mezclado y compactación, siendo estos parte de otro tipo de tecnología diferente a las ya mencionadas. Estos aditivos incluyen agentes emulsificantes, superficiales, polímeros, y aditivos para mejorar la trabajabilidad de la mezcla, al igual que funcionan como promotores de adhesión, y su cantidad depende directamente del tipo de método que se use (Rubio *et al*., 2012).

Por último, el principio de la tecnología de secuencia de bitúmenes duros y blandos, desarrollada por Shell Bitumen en colaboración de Kolo Veidekke en Noruega en el año 1996, es el de añadir a la mezcla componentes duros y blandos para reducir su

temperatura de producción. Esta Tecnología, denominada también como WMA-Espuma, es un proceso mas no un aditivo o un material, y ha sido comúnmente utilizada en Noruega para la composición de dos tipos de ligantes asfálticos, uno blando y otro duro, que se combinan para producir un nuevo ligante con el grado de desempeño deseado (D'Angelo, *et al*., 2008). Kolo Veidekke desarrolló aún más esta tecnología añadiéndole espuma al bitumen duro como componente (D'Angelo, *et al*., 2008).

2.1.3 Materiales para la elaboración de mezclas asfálticas tibias

2.1.3.1 Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico es un material viscoso que puede ser obtenido naturalmente o producido industrialmente por destilación del petróleo crudo, es aglutinante y flexible, y posee una viscosidad apropiada para los trabajos de pavimentación. El cemento asfáltico se designa con las letras AC (por las siglas en inglés de *Asphalt Cement*) o CA, seguidos de un número que lo clasifica dependiendo de su consistencia; este número se obtiene por medio del ensayo de penetración (norma de ensayo INV E-706) y es medido en 1/10 mm. Las diferentes designaciones para el cemento asfáltico son:

- CA-40-50.
- CA-60-70.
- CA-80-100.
- CA-120-150.
- CA-200-300.

En Colombia el cemento asfáltico es producido por ECOPETROL en las refinerías de Barrancabermeja, Cartagena y Apiay. Los cementos asfálticos producidos por estas refinerías son del tipo CA-60-70 y CA-80-100. Las especificaciones que deben cumplir los cementos asfálticos en Colombia se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones del Cemento Asfáltico. Fuente: Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras (2007).

Característica	Norma de Ensayo	CA 60-70		CA 80-100	
		Min	Máx	Min	Máx
Penetración (25° C, 5 s), 0,1 mm	E-706	60	70	80	100
Índice de Penetración (IP)	E-724	-1	1	-1	1
Viscosidad absoluta (60° C), Poises	E-716	1500		1000	
Punto de ignición mediante copa abierta de Cleveland, °C	E-709	230		230	

Pérdida por calentamiento en película delgada (163° C, 5 h), %	E-721		1.0		1.0
Ductilidad (25° C, 5 cm/min), cm	E-702	100		100	
Solubilidad en Tricloroetileno %	E-713	99		99	
Penetración del residuo luego de la perdida por calentamiento, en % de la penetración original	E-706	52		48	
Contenido de agua %	E-704		0.2		0.2

El ligante asfáltico es un material aglutinante con el cual se puede trabajar bajo susceptibilidad térmica; por esta razón, el comportamiento de sus propiedades depende de la temperatura con que se trabaje. El comportamiento del cemento asfáltico depende también del tiempo de aplicación de la carga (Speier, 1994). Estas dos características se pueden intercambiar como se muestra en la Figura 3.

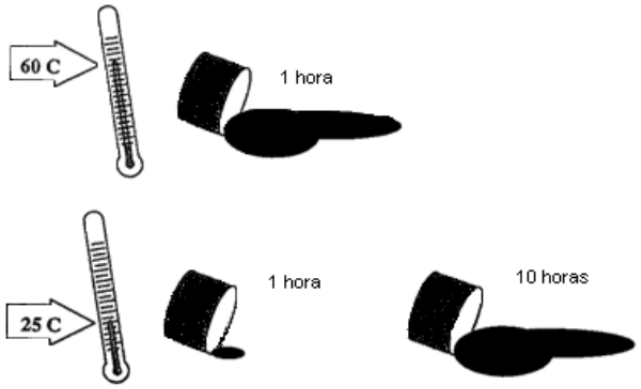


Figura 3. Comportamiento del Cemento asfáltico, bajo características de Temperatura y Tiempo
Fuente: Speier (1994).

2.1.3.2 Agregados Pétreos

Los materiales pétreos para la elaboración de mezclas asfálticas son por lo general de origen natural, los cuales son directamente extraídos de depósitos, o pueden ser materiales pétreos tratados, los cuales son agregados naturales que han sido clasificados en fracciones según su tamaño, lavados, y pueden ser cribados y/o triturados parcial o totalmente para mejorar sus características de comportamiento en la mezcla asfáltica (Oliveros y Caicedo, 2010).

La textura de los agregados es importante para la mezcla; por ejemplo, si es rugoso y con buena cubicidad, tienen más resistencia que los agregados lisos (Speier, 1994). Debido a que las partículas angulares tienden a trabarse entre sí, esto les da consistencia, a diferencia de las redondeadas, las cuales tienden a deslizarse unas sobre otras. La

textura afecta la mezcla cuando la masa de agregados es cargada, generando un plano por el cual las partículas tienden a ser desplazadas (Garnica *et al*., 2004); es en este plano donde los esfuerzos exceden la resistencia al corte de la masa del agregado, y es en ese momento cuando la resistencia del agregado es importante para el desempeño de una carpeta asfáltica, ya que provee en gran medida la resistencia a la deformación permanente de la mezcla (Garnica, *et al*., 2004).

2.1.3.3 Aditivo para mezclas asfálticas tibias

Como se mencionará en el numeral 2.3, y con el fin de proteger la información relacionada con los resultados que se deriven de esta investigación utilizando los dos productos para la elaboración de mezclas asfálticas tibias, se acordó conveniente denotarlos como Producto I y Producto II.

El Producto I es un aditivo de tipo químico, desarrollado a principios del año 2000, del cual el 50% de su materia prima es renovable, es un agente de moléculas tensoactivas que actúan en la superficie de contacto entre dos fases (en este caso interactúa entre la interface ligante-agregado) cambiando la forma en que los minerales interactúan entre ellos; por esta razón, solo se necesita una pequeña cantidad de aditivo (entre un 0,3% y 0,5%) por peso del ligante para recubrir la superficie del agregado (Gonzalez, *et al*., 2009).

Además de sus cualidades en la elaboración de mezclas asfálticas tibias, el Producto I es fácil de mezclar con el ligante por ser líquido (ver Figura 25), lográndose una buena homogenización. La utilización de este aditivo no requieren modificaciones en el proceso de producción, es práctico de usar pues solo se tiene que adicionar en el tanque de almacenamiento del bitumen o directamente en la línea de proceso antes de mezclar el ligante con los agregados; además es compatible con todas las clases de asfaltos, y como se mencionó anteriormente, solo se necesita de 2 a 6 kg de aditivo para 1 tonelada de ligante, obteniendo reducciones hasta de 40° C en la temperatura de mezclado (información obtenida del fabricante). El Producto I es un buen ejemplo de rendimiento de productos químicos que ha logrado sorprender a muchos en el mundo por su increíble relación entre la pequeña cantidad de producto frente a la considerable reducción de la temperatura que produce. Este producto ha alcanzado una alta demanda en el sector de la construcción vial debido a que el proceso con este aditivo ha demostrado reducir los humos y emisiones que generalmente se producen en la fabricación de una mezcla asfáltica caliente, logrando una significativa mejora en el confort, la seguridad y la salud en el trabajo.

La innovación ofrecida por el Producto I ofrece mejoras en aspectos relacionados con la salud, ya que logra eliminar estas emisiones casi en su totalidad (90% menos polvo, vapor y gases durante la producción de la mezcla de asfalto).

El Producto I no genera impactos negativos la reología del ligante, además reduce su envejecimiento en el momento de fabricación de la mezcla. Al lograr disminuir las temperaturas de mezclado y compactación, también se reduce significativamente las emisiones (las emisiones de CO_2, CO y NOx se reducen aproximadamente en un 35%, y las emisiones de polvo en un 90% durante la producción y aplicación de la mezcla de asfalto). Por otro lado, los costos del combustible requerido para la fabricación de la mezcla se redujeron entre un 25% a un 35%, sin modificar el proceso; este ahorro es un beneficio clave debido al considerable aumento en los precios del petróleo, lo cual está animando a la innovación constante para frenar el gasto de energía no renovable (información obtenida del fabricante).

La innovación del Producto I fue premiada en 2007 por el "Pierre Potier", premio presentado por el viceministro Francés de Industria, quien lo consideró como “un estímulo patente en el avance hacia una verdadera química verde".

El Producto II, que igualmente permite la elaboración de mezclas asfálticas a temperaturas más bajas que una HMA, tiene como característica importante la compactación de dichas mezclas que contienen un alto contenido de asfalto recuperado. El Producto II es un aditivo sólido en forma de pastillas (ver Figura 26) y diseñado de tal manera que no tiene un efecto negativo en el aglutinante en cuanto a sus propiedades de alta temperatura o baja temperatura (información obtenida del fabricante); tiene ingredientes termoestables que han sido comprobados en el laboratorio y en ensayos de campo. Este aditivo está diseñado para funcionar con un amplio espectro de asfaltos, agregados y tipos de mezclas asfálticas, así que no es necesario el uso de otro aditivo que mejore sus propiedades; esto ha sido claramente demostrado en los proyectos de campo con la participación de diferentes combinaciones y PG (grados de desempeño) de asfaltos en muchos países alrededor el mundo. Es un aditivo que no requiere de agua como tecnología para mezclas asfálticas tibias y por eso, a diferencia de las tecnologías de espuma, esta mezcla no pierde su propiedad de mezcla cálida cuando se almacena durante largos períodos de tiempo.

Como ya se ha explicado anteriormente, la gran cantidad de proyectos de infraestructura vial ha conducido a la alta emisión de gases de carbono en el proceso de la pavimentación. Es allí donde el uso de procesos de baja energía y la construcción de vías con alta durabilidad inciden considerablemente con el impacto ambiental que dicha actividad genera. El proceso de mezclas tibias de asfalto reduce el consumo de

combustible y las altas emisiones de carbono como vapor o aerosol que se generan en el proceso de pavimentación.

El Producto II permite mejorar la adherencia del ligante con el agregado, es flexible con la utilización de una gama amplia de tipo de agregados, y proporciona una larga duración a las carreteras frente a los efectos del tiempo y la humedad (información obtenida del fabricante). De acuerdo con el fabricante, entre otras características, el Producto II ofrece:

- Mezclas con mayor trabajabilidad y compactación en comparación con otras tecnologías de mezclas tibias.
- Mejores resultados a bajas temperaturas (inferiores a los 30° C), incluso con difíciles tecnologías de mezclas tales como ligantes modificados con polímeros y mezclas con grano de caucho reciclado.
- Adherencia activa y efecto anti-stripping para mejorar el efecto de la humedad en el agregado, resultante de inferiores las temperaturas de secado del mismo y de mezclado.
- Una excelente estabilidad térmica, ya que el ligante puede ser tratado en caliente y almacenado durante dos semanas sin ningún efecto negativo en su comportamiento.
- Una importante versatilidad, ya que se puede trabajar con una amplia gama de ligantes, agregados, y mezclas asfálticas.

La capacidad del Producto II para mejorar significativamente la compactación de la mezcla ha sido demostrada en diversos proyectos en todo el mundo.

La adición de del Producto II al ligante cambia la química de superficie de la mezcla y hace que sea más fácil para compactar. Este aditivo se puede usar en dosis pequeñas, tales como 1% en peso del aglutinante o un 0,06% por el peso de la mezcla asfáltica total. Por otro lado, este aditivo está formulado para mejorar la adhesión entre el agregado y el asfalto, cualidad importante para uso en algunas regiones donde los agregados tienen una alta tendencia de separación, y los agregados adecuados deben ser traídos de regiones lejanas. El agente de adherencia activa contenida en el Producto II permite la modificación de la mezcla asfáltica para desplazar el agua de la superficie del agregado, permitiendo no sólo el revestimiento del agregado, sino también la creación de un enlace químico fuerte entre el este y el ligante.

2.1.4 Caracterización dinámica de mezclas asfálticas

2.1.4.1 Fatiga

Los materiales se pueden romper si se aplica de manera repetitiva un gran número de solicitaciones cuya amplitud sea menor a su resistencia a la ruptura instantánea. Este fenómeno de fatiga es muy importante en las distintas construcciones, como por ejemplo: la solicitación por flexión de una pieza rotante, la solicitación de los materiales de vías debido al paso repetido de vehículos pesados, las solicitaciones provenientes de los fenómenos de vibración (estructuras de un avión), etc.

Numerosos estudios han sido realizados sobre los metales y ya se tienen conocimientos muy importantes sobre este material. El comportamiento de la fatiga de un material consiste en someter una probeta a solicitaciones repetitivas e idénticas para determinar el número de repeticiones que la llevan a la ruptura. La curva resultante se conoce como la curva de Wöhler (Figura 4).

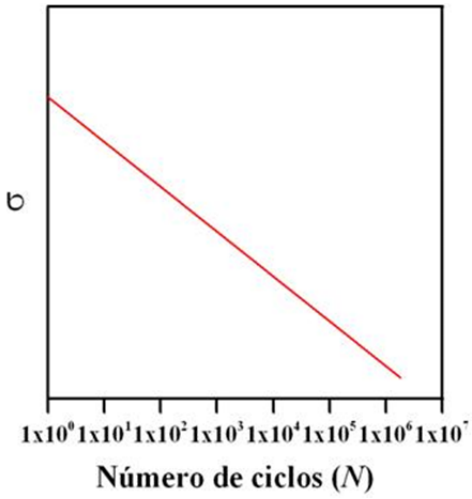


Figura 4. Curva de Wöhler. σ es el esfuerzo cíclico aplicado al material en función del número de ciclos.

Se llama resistencia a la fatiga para N ciclos de carga, el valor de la solicitación para la cual la probeta soportaría N ciclos antes de romperse. El número de ciclos antes de la ruptura se llama duración de vida, su representación esquemática es:

$\sigma = AN^{-\gamma}$ (una recta en escala logarítmica) **Ecuación 1**

$\sigma = a - bln(N)$ (una recta en escala semi-logarítmica) **Ecuación 2**

En los materiales tales como aceros, se constata que con un cierto valor de la amplitud de la solicitación de ruptura, se le puede aplicar un número infinito de veces sin que ella se presente, esta solicitación se llama límite de fatiga. Para ciertos materiales como son las mezclas bituminosas, nunca se les ha podido evidenciar este límite, y puede haber fatiga para cualquier valor de la amplitud de la solicitación.

La determinación experimental de la curva de Wöhler es complejo, porque repitiendo muchas veces el ensayo de fatiga sobre probetas idénticas el número de ciclos a la ruptura es disperso. La duración de vida constatada para los metales, bajo la aplicación de una misma solicitación y repitiendo el ensayo sobre una centena de probetas, ha dado como resultado entre la más baja y la más alta duración, una relación de 1 a 10. Para los concretos bituminosos de 1 a 50, y de 1 a 1000 para los materiales tratados con ligantes hidráulicos. Lo anterior es una característica fundamental inherente al fenómeno de la fatiga, y no una dispersión que provenga únicamente de una insuficiencia de los métodos de ensayo o de una mala reproducción en la fabricación de las probetas.

Para determinar una curva de Wöhler que representa la duración de vida media en función de la amplitud de solicitación aplicada, se puede realizar una curva que presente la duración de vida a cierta probabilidad de falla (p. ej. 98%). Esta curva tiene una importancia práctica más grande que la curva de duración de vida media. Un material que presente una duración de vida poco dispersa puede ser preferible, aún si su duración de vida media es más baja con respecto a otro, puesto que tendrá un comportamiento más confiable.

Los ensayos de ley de fatiga son realizados en tracción por flexión sobre probetas trapezoidales empotradas en la base, repitiendo un nivel de esfuerzo o de deformación hasta la ruptura. La temperatura del ensayo es de 10° C y la frecuencia de 25 Hz. Existen dos clases de ensayos:

- Bajo esfuerzo constante. El ensayo puede ser efectuado ejerciendo en la cabeza de la probeta un esfuerzo σ_o que se mantiene constante durante la totalidad de éste. En este caso y teniendo en cuenta el daño de la probeta, el desplazamiento de la cabeza de la probeta crece constantemente durante el ensayo.
- Bajo deformación constante. El ensayo de fatiga, efectuado manteniendo un nivel de deformación constante, es menos disperso que el ensayo realizado con esfuerzo constante.

Los ensayos de fatiga son generalmente efectuados a deformación (ε) constante. La curva de fatiga es lineal en la escala logarítmica (Figura 5). El $log(\varepsilon)$ es función lineal del logaritmo del número de ciclos, es decir, $\varepsilon = AN^{-b}$ con $1/b$ como la pendiente de la curva la cual es aproximadamente igual a 1/5 para materiales bituminosos. Para niveles de solicitación idénticos, el ensayo con esfuerzo constante es más severo que el ensayo de deformación constante, es decir que la ruptura de la probeta se da antes. Para el caso del ensayo bajo deformación constante, la ruptura no se observa realmente al final del ensayo, pero se define una ruptura convencional cuando el desplazamiento en la cabeza de la probeta tiene un valor del doble de lo establecido al inicio del ensayo. Las propiedades de los materiales bituminosos están muy ligadas a la temperatura. Los ensayos más comunes se efectúan a 10° C, pero pueden ser realizados a otras temperaturas. Diversos estudios muestran que la deformación ε_6 que conduce a la ruptura a $N = 10^6$ ciclos está ligada efectivamente a la temperatura.

La deformación a tracción (ε_t) que experimentan las mezclas son función de la temperatura (θ). Este tipo de deformación crece con el aumento de temperatura y a partir de 0° C se observa que sobre una escala de temperatura la función $\varepsilon_t(\theta)\sqrt{E(\theta)}$ permanece constante (E es la rigidez o módulo dinámico).

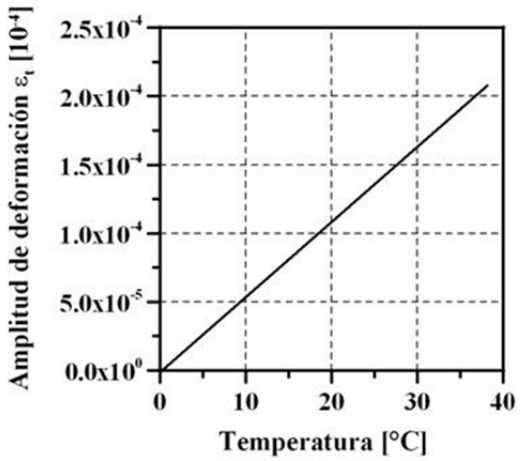


Figura 5. Deformaciones admisibles a N = 10^6 ciclos en función de la temperatura, para una grava bituminosa 0/20.

El ensayo de fatiga no es el único ensayo de tipo mecánico que se efectúa sobre materiales bituminosos. Los ensayos convencionales de compresión simple o diametral (ensayo Brasilero) son también útiles, pero a diferencia de lo que se constata para materiales hidráulicos, este no permite hacer una ley de fatiga para materiales hidrocarbonados. Este ensayo consiste en imponer un desplazamiento □ a la probeta que

se va a estudiar, asociando al ensayo tres velocidades de deformación y tres temperaturas lo que permite una estimación de la deformación ε_6 a 10^6 ciclos y a 10° C.

Desde el año 1995 con la adquisición del Nottingham Asphalt Tester (NAT, ver Figura 6 y Figura 7) por parte del Laboratorio de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana, los ensayos de fatiga se realizan por medio de la teoría Inglesa a tracción indirecta. El NAT básicamente es un equipo diseñado para medir y obtener propiedades mecánicas de materiales asfálticos usados en pavimentación por medio de una rutina simple.

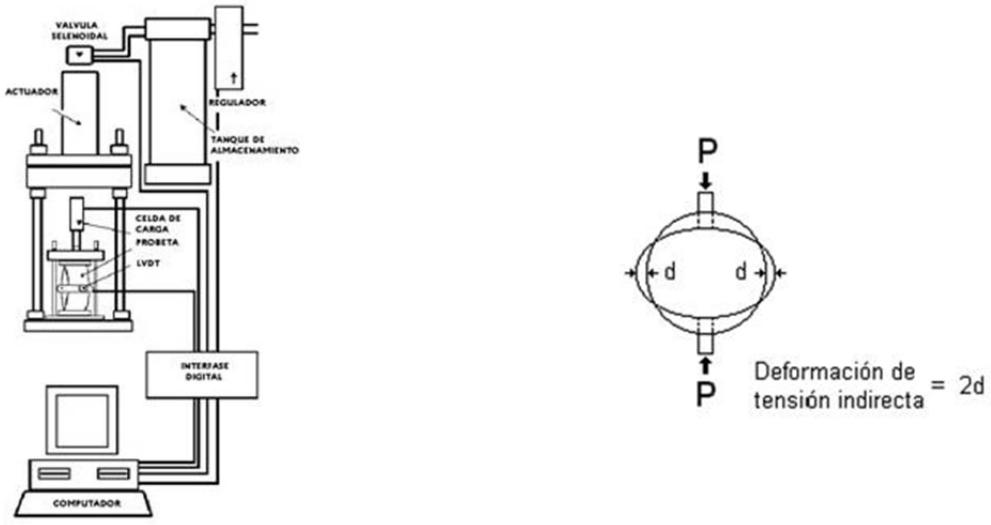


Figura 6. Diagrama del mecanismo del NAT y principio de tracción indirecta.

El principio del NAT es el de someter un espécimen cilíndrico a cargas repetitivas de compresión con una señal de carga a través del plano vertical diametral hasta la falla. Este equipo usa probetas cilíndricas de 100 o 150 mm de diámetro y se constituye por:

- Celda de Carga: Constituida por un actuante neumático y un transductor de carga capaz de aplicar cargas verticales desde 0 a 4,3 kN. Aplica una carga de compresión a lo largo del diámetro en el plano vertical de la probeta cilíndrica, induciendo un esfuerzo indirecto de tensión (y por lo consiguiente una deformación) a lo largo del diámetro en el plano horizontal.
- Captura e interpretación de datos: la carga y los pulsos de deformación son registrados por el sistema y cada pulso de carga es analizado por el software para determinar el valor de la carga máxima (P). Las probetas son conectadas a un mecanismo que contiene transductores de deformación tipo LVDT (por sus siglas en inglés de *Linear Variables Differential Transformers*), una interfase electrónica de alta

resolución con tarjeta de velocidad multifuncional de 16 bits los cuales se conectan paralelamente para enviar la información obtenida por la deformación ejercida dentro de la celda de carga a la unidad de cómputo. La interfase electrónica contiene acondicionadores de señal para los transductores de carga, dos termocuplas y dos transductores de deformación. Durante el ensayo, la carga y los pulsos de deformación son registrados por el sistema y cada pulso de carga es analizado por el software para determinar el valor de la carga máxima y el intervalo de tiempo entre el comienzo del pulso de carga y el punto en el cual la máxima carga ocurre (*rise time*). El pulso de deformación es analizado para determinar la amplitud de la onda de deformación.

Figura 7. Nottingham Asphalt Tester PUJ. Fuente: Autores

La máxima deformación o esfuerzo de tensión (opcional) en el centro de la probeta se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_o = \frac{2P}{\pi t D}$$ **Ecuación 3**

$$\varepsilon_o = \left(\frac{2\Delta H}{D}\right)\left(\frac{1+3\upsilon}{(4+\pi)(\upsilon-\pi)}\right)$$ **Ecuación 4**

Si $\upsilon = 0.35$ entonces:

$$\varepsilon_o = 2.1\frac{\Delta H}{D}$$ **Ecuación 5**

Dónde:

σ_o : Esfuerzo a tensión en el centro de la probeta en MPa.
P : Carga máxima en N.
t : Espesor de la probeta en mm.
D : Diámetro de la probeta en mm.
ε_o : Deformación por tensión en el centro de la probeta en μm.
ΔH : Desplazamiento horizontal en mm.

- Visualización de los datos: Los ensayos son realizados a esfuerzo controlado o deformación controlada y los resultados pueden convertirse a una hoja de cálculo simple. El criterio de fatiga para un material bituminoso se determina de varias probetas falladas. Se usa el método del logaritmo de los mínimos cuadrados.

$$log(N_f) = k + nlog(\varepsilon_o)$$ **Ecuación 6**

$$N_f = k\left(\frac{1}{\varepsilon_o}\right)^n$$ **Ecuación 7**

Dónde:

N_f : Número de repeticiones de carga.
k, n : Constantes del material.
ε_o : Deformación por tensión en el centro de la probeta en μm.

Algunos años después, dada la experiencia y los estudios realizados en Francia por parte del Ing. Fredy Reyes en la Universidad Javeriana en 2005, se aplicó la teoría del método de ensayo en flexión alternada; este método consiste en utilizar probetas bajo la forma de vigas colocadas sobre apoyos simples o empotradas, las cuales se someten a una oscilación forzada de frecuencia dada. Por medio de fórmulas de

resistencia de materiales, se deducen las relaciones entre esfuerzo y deformación, construyendo un prototipo para el estudio de las leyes de fatiga denominado Banco de Fatiga. Este equipo utiliza probetas trapezoidales de dimensiones h = 25 cm, e = 2,5 cm, B = 7,5 cm, y b = 2,5 cm, las cuales se empotran por su base mayor (B) (Figura 15 a Figura 17).

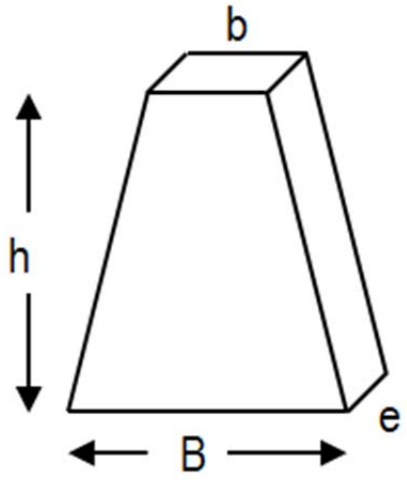


Figura 8. Esquema de las probetas trapezoidales utilizadas en el banco de fatiga. Fuente: Autores

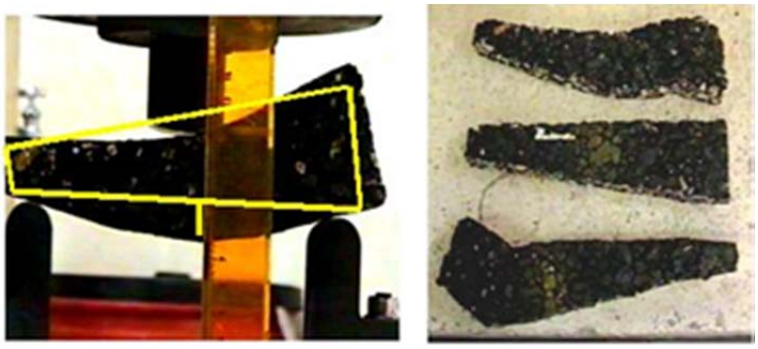


Figura 9. Probetas falladas en el Banco de Fatiga. Fuente: Autores

Figura 10. Banco de fatiga de la Universidad Javeriana. Fuente: Autores

El esquema constitutivo del mecanismo descrito consta de:

- Dispositivo mecánico central: Esta parte del banco de fatiga está compuesta por un macizo de concreto, cimiento del equipo, el cual soporta la mayor parte de éste (motor y montaje mecánico). Sobre él se instala una base metálica destinada a materializar la sección del empotramiento, donde reposarán las probetas, esta base se diseña para resistir las solicitaciones que la probeta transmite.
- Rama de generación de la vibración: La compone el motor (que trabaja a 220 voltios de tensión), un variador electrónico de velocidad, el cual permite regular la velocidad, el sentido de giro del eje de motor de 0 a 60 Hz y un dispositivo mecánico de vibración el cual se divide en dos partes: la primera que está constituida por un acople cónico que enlaza el eje del motor con el sistema de masa excéntrica, la cual genera el movimiento mecánico, ésta va sujeta a un brazo que permite el rodaje eliminando la fricción y permite el movimiento. La segunda se vincula mecánicamente a la primera parte descrita por medio de un brazo que facilita el desplazamiento aproximado de 1mm en la cúspide de las probetas, a otro mecanismo diseñado para producir movimiento en la cabeza de las probetas conectándose al macizo de fundación por medio de un sistema de anclaje químico acorde con el peso del artefacto mecánico total y el tipo de vibración del sistema. Dentro de esta misma rama se encuentran las terminales de vibración que por medio de un desplazamiento de carácter sinusoidal dirigido a la cabeza da las probetas, transmiten la vibración. Cuentan con la presencia de

un sistema de láminas aceradas que conforman un sistema con flexibilidad tal, que produce un desplazamiento horizontal en la parte superior de las probetas y así evita solicitaciones de torque ó giros en dichas secciones y fija la probeta de material.

- Captura e interpretación de datos: La fuerza transmitida a la cabeza de las probetas es registrada por celdas de carga con capacidad de 2000 N a tensión-compresión, con sensibilidad de medida de 3,099 mv/v y se ubican en cada una de las terminales de vibración.

La metodología para la formulación y obtención de las deformaciones, esfuerzos y módulos con los datos obtenidos de la vibración de las probetas se realiza por medio de la aproximación de Rayleigh así:

$$\varepsilon_x^+ = \frac{h_o - h_i}{2LR_{(n)}} \cdot \frac{x-a}{x^2} \cdot Z_{(a)}^+ \qquad \textbf{Ecuación 8}$$

$$R_{(n)} = n \cdot \left(\frac{2-n}{2}\right) - log\left(n - \frac{3}{2}\right) \qquad \textbf{Ecuación 9}$$

$$n = \frac{h_i}{h_o} = \frac{a}{L} \qquad \textbf{Ecuación 10}$$

Dónde:

ε_x^+ : Deformación en la fibra extrema de una sección de abscisa x.
h_o : Base mayor del trapecio.
h_i : Base menor del trapecio.
L : Altura de la probeta.
$Z_{(a)}^+$: Movimiento del extremo libre de la probeta.

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot h \cdot 2\sin^3\alpha \cdot \cos\alpha}{2 \cdot I \cdot 3(\alpha - \sin\alpha \cdot \cos\alpha)} = \frac{\beta M h}{2I} \qquad \textbf{Ecuación 11}$$

Dónde:

M : Momento flexor $(P \cdot X)$.
X : Distancia del origen de coordenadas a la sección más solicitada.
h : Largo de la sección de la probeta en la porción más solicitada $(2X \tan\alpha)$.
α : Angulo que define el ahusamiento de la cuña.
I : Inercia de la probeta.

El módulo se logra simplificar por medio de la fórmula:

$$E = \frac{\sigma_t}{\delta_t}$$ **Ecuación 12**

Dónde:

σ_t : Esfuerzo por tensión.

δ_t : Deformación por tensión.

2.1.4.2 Módulo dinámico

La principal característica reológica que presentan los materiales bituminosos es que su respuesta mecánica bajo cargas cíclicas depende de la velocidad con que ésta se aplique y de la temperatura (comportamiento viscoso). Se dice que el comportamiento de estos materiales es viscoelástico. Esta propiedad se explica por la dependencia del módulo de la frecuencia de aplicación de la carga: el módulo es elevado cuando el material es sometido a una solicitación rápida (cuando la calzada sufre el paso del vehículo que circula a una velocidad normal). El módulo es bajo cuando el material es sometido a una solicitación lenta (vehículos rodando a velocidades muy bajas o estacionadas). La segunda variable que influye sobre el módulo de un material bituminoso es la temperatura, donde con altas temperaturas el módulo disminuye. Los otros parámetros que influyen sobre el comportamiento de un material bituminoso son su composición, compacidad y naturaleza.

Para el caso de una mezcla asfáltica, en un ensayo de flexión dinámica, el esfuerzo inducido es de la forma $\sigma(t) = \sigma_o \sin(\omega t)$ (σ es el esfuerzo, t es el tiempo de aplicación de la carga, ω es la frecuencia). Teniendo en cuenta un carácter viscoelástico del material, la deformación tiene un retardo sobre el esfuerzo que se traduce por un ángulo de desfaseφ, por lo tanto se tiene que $\varepsilon(t) = \varepsilon_o \sin(\omega t + \varphi)$ (ε es la deformación). En notación imaginaria el módulo se escribe:

$$E^*(i\omega) = |E^*| \cdot exp(i\omega) = E_1 + iE_2$$ **Ecuación 13**

Este módulo complejo E^* se puede caracterizar por $|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$ el cual es llamado módulo de rigidez. El ensayo de flexión dinámica que permite definir un módulo se efectúa sobre probetas trapezoidales empotradas en la base.

En la representación de las curvas isotérmicas del módulo complejo aparece sobre ellas que la influencia de la frecuencia de la carga es más fuerte para las altas temperaturas que para las bajas (Figura 11).

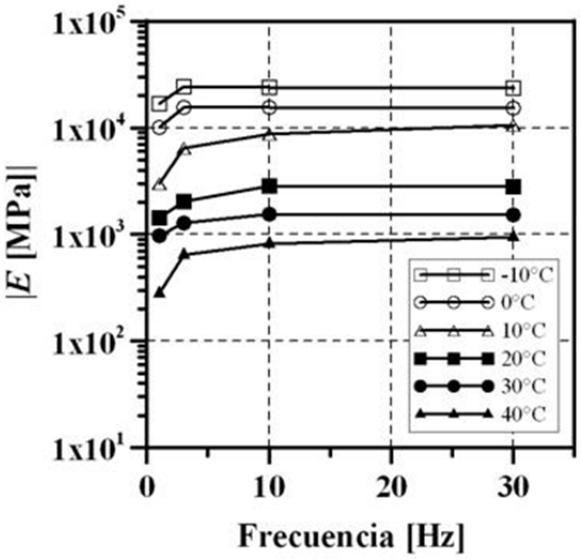


Figura 11. Influencia de la frecuencia de las cargas en el Módulo de un material Bituminoso. Fuente: Autores

La influencia de la temperatura sobre el módulo es muy importante porque el módulo se divide aproximadamente por 10 cuando la temperatura varía de 10° C a 40° C. El cálculo de la frecuencia se calcula a partir del estudio de la variación de la deformación ε en un punto A en el tiempo t con el paso de la carga rodante. La frecuencia de solicitación (f) depende de la distancia entre los dos extremos y de la velocidad de carga (Figura 12).

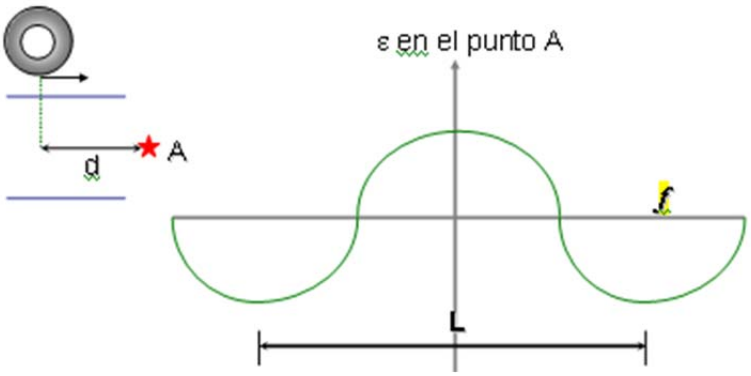


Figura 12. Efecto de la aplicación de una carga rodante sobre un pavimento.

El valor del módulo a 30° C permite tener una idea de la susceptibilidad del material al ahuellamiento. Este ensayo permite obtener rápidamente información sobre el comportamiento en fatiga de materiales extraídos de la calzada siempre y cuando el espesor de la capa sea superior a 8 cm (ver Tabla 3).

Tabla 3. Valores del Módulo y ε_o dependiendo de la Estructura, a 10^6 ciclos

Material	E (MPa)	ε_o
Concreto Bituminoso	6000	$160x10^{-6}$
Gravas - Bituminosas	8000	$120x10^{-6}$

La curva de fatiga tiene una pendiente b igual a 5, es decir que por cada 10^N ciclos de carga, la deformación a la ruptura está dada por:

$$\varepsilon_N = \varepsilon_6 \left(\frac{10^6}{N}\right)^{-0.2}$$ **Ecuación 14**

2.1.4.3 Deformación plástica

La deformación plástica o ahuellamiento de los pavimentos asfálticos consiste en el deterioro gradual de la superficie y se manifiesta como una depresión bajo las bandas de circulación vehicular. Las causas que determinan la aparición de huellas en una estructura de pavimento son:

- La formación y acumulación de deformaciones plásticas en la base de las capas de materiales asfálticos.
- La disgregación de las capas de materiales granulares ante la aplicación de grandes esfuerzos verticales.

En el caso de las mezclas asfálticas, se ha demostrado que los principales factores que determinan la formación de huellas son la magnitud y frecuencia de la aplicación de carga y las condiciones climatológicas (p. ej. temperatura). Adicionalmente, se ha comprobado que las características reológicas del ligante asfáltico de la mezcla también influyen significativamente en el comportamiento plástico de estos materiales.

En una estructura de pavimento, la magnitud y la frecuencia de aplicación de la carga están directamente relacionadas con su nivel de servicio, con su ocupación vehicular (TPD, tránsito promedio diario) y con la velocidad promedio de los vehículos. La variación de la temperatura altera las características y el comportamiento mecánico del material, disminuyendo la capacidad estructural del pavimento. Así mismo, la reología del asfalto es determinante en el comportamiento mecánico del material; se ha demostrado que a altas temperaturas o cargas lentas, el asfalto se comporta como un líquido viscoso; a bajas

temperaturas o cargas rápidas, el asfalto se comporta como un sólido elástico, y a temperaturas intermedias, el asfalto se comporta como un material viscoelástico.

La determinación del ahuellamiento se realiza por medio de ensayos triaxiales cíclicos con confinamiento constante y ensayo de pista en laboratorio (INV E-756). En el primer caso, los ensayos reproducen con exactitud la distribución de esfuerzos que experimenta un elemento que se encuentra bajo el área de presión de carga vehicular y su objetivo es determinar la ley de flujo del material. En el segundo ensayo, se puede obtener el valor de la huella sobre la capa de material asfáltico y la relación entre el tiempo y la deformación plástica.

Los ensayos triaxiales cíclicos con confinamiento constante someten a los materiales asfálticos que conforman la estructura de pavimento a condiciones de esfuerzos similares a los producidos por el paso de vehículos en la superficie. En los ensayos triaxiales cíclicos las probetas se introducen dentro de la cámara triaxial, donde son sometidas a una condición de esfuerzo vertical de compresión que varía con una función sinusoidal (ΔV), a una presión horizontal estática e isotrópica (ΔH) y a una temperatura constante. Ante las condiciones descritas, la muestra de ensayo experimenta alteraciones en su geometría: la altura total de la muestra disminuye por la aparición de deformaciones permanentes (ΔHP) y la probeta sufre un achatamiento general que genera variaciones en su radio (Figura 13).

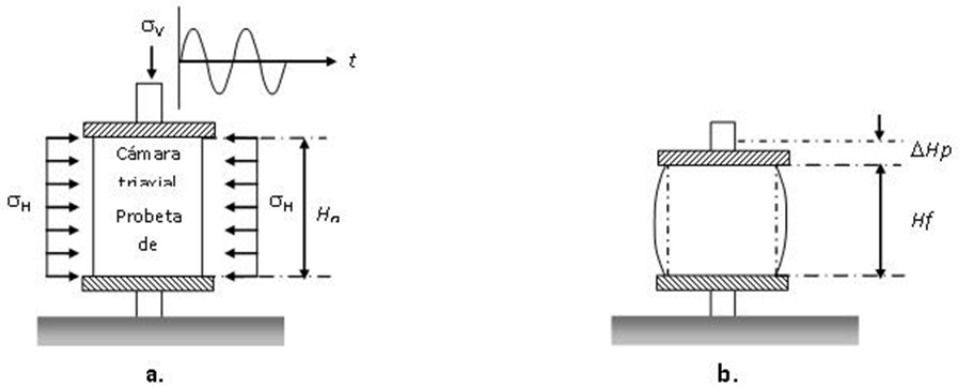


Figura 13. Esquematización del ensayo triaxial cíclico, a) al inicio de la prueba, y b) al finalizar la prueba. Fuente: Autores

El ensayo proporciona la relación entre el porcentaje de deformación permanente de la muestra en función del número de ciclos de carga a la que ha sido sometida. Un resultado característico se muestra en la Figura 14. En la gráfica se puede observar una rápida deformación inicial producida por la aplicación de los primeros ciclos de carga, seguida de una estabilización que corresponde al flujo de material y finaliza con la falla de la probeta.

Posterior a la falla, las muestras adquieren forma de toneles y pierden toda consistencia cuando se elimina la presión de confinamiento a la que estaban sometidas (Figura 13b).

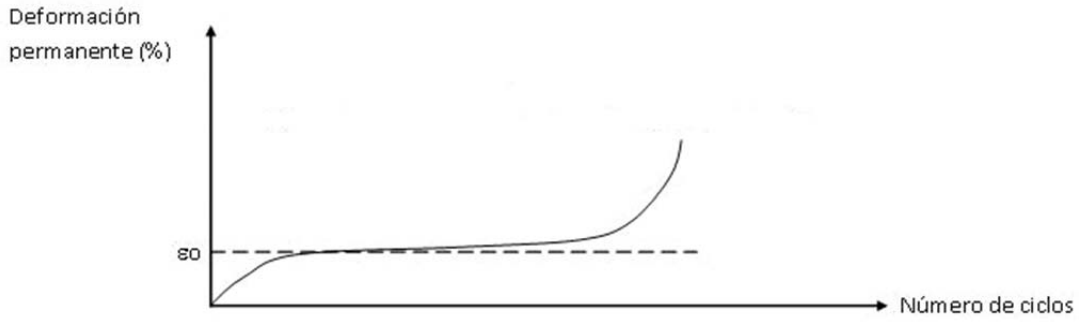


Figura 14. Curva típica de flujo de una mezcla asfáltica. Fuente: Autores

2.1.4.4 Resistencia de una mezcla bituminosa compactada al daño causado por humedad

De acuerdo con Tarefder *et al*. (2003), el agua genera pérdida de resistencia en la interface entre el ligante asfáltico y el agregado pétreo, generando que la tasa de acumulación de la deformación permanente aumente debido a la pérdida de cohesión de la mezcla por humedad. Este fenómeno fue identificado en la década de los 30 (Caro *et al*., 2008) y la literatura de referencia lo denomina "stripping" (Abo-Qudais y Al-Shweily, 2007; Aksoy *et al*. 2005; Amirkhanian y Williams, 1993; Bagampadde *et al.*, 2005; Caro, *et al*., 2008; Kandhal *et al.*, 1989; Kassem *et al.*, 2009; Kringos *et al.*, 2008a; Kringos *et al.*, 2008; Lottman y Johnson, 1971; Majildzadeh y Brovold, 1968; Mallick *et al.*, 2005; Mohamed, 1993; Mohammad *et al*., 2008; Williams y Miknis, 1998). Un estado del conocimiento actualizado sobre el tema puede ser consultado en Mehrara y Khodaii (2013).

Peterson (1982) y Stuart (1986) sugieren que el stripping ocurre por reacción química entre el asfalto y el agregado. De manera similar Bagampadde *et al.* (2005) mencionan que la calidad del agregado y la composición mineralógica es uno, de entre tantos factores, que afectan la magnitud de este fenómeno. Bagampadde y Kiggundu (2007) concluyen que el fenómeno de stripping es mayor directamente debajo de las ruedas de los vehículos. Kanitpong y Bahia (2008) reportan que la adherencia entre el ligante y el agregado pétreo es fuertemente dependiente de la mineralogía de este último material. Lu y Harvey (2006; 2006a) demostraron que la edad del pavimento tiene una alta influencia en el daño por humedad. El Hussein *et al*. (1998) concluyen que existe incompatibilidad térmica entre el agregado pétreo y el ligante lo cual genera contracción térmica diferencial

de estos componentes, induciendo altos esfuerzos de tensión, grietas, deterioro localizado en la matriz de asfalto y deterioro de la interface ligante-agregado.

Las causas que generan este fenómeno son complejas ya que involucran aspectos físicos, químicos, mecánicos y termodinámicos. Abo-Qudais y Shweily (2007; 2007a), mencionan adicionalmente que el fenómeno de stripping es función de la tensión superficial entre el agregado pétreo y el asfalto, y que el empleo de ligantes más viscosos generan mayor resistencia a este fenómeno. Además sugieren que mezclas sometidas a ciclos de humedecimiento-secado o congelamiento-deshielo, o agregados pétreos angulares pueden incrementar el potencial de stripping (éste último debido a que las caras angulares son más difíciles de recubrir con asfalto). El estado del conocimiento en esta área es que a pesar del alto número de investigaciones realizadas, el fenómeno de stripping y las causas que lo generan no han sido totalmente entendidas e identificadas (Abo-Qudais y Al-Shweily, 2007; Airey, 2003; Bagampadde *et al*., 2005; Mohamed, 1993).

De acuerdo con Krishnan y Rao (2001), Airey (2003), Sengoz y Agar (2007), Breakah *et al.* (2009), y Nejad *et al*. (2012), el daño por humedad es uno de los principales mecanismos de deterioro de capas asfálticas en servicio. Para incrementar la resistencia al agua de mezclas en servicio, son de amplia utilización, los aditivos anti-stripping o mejoradores de adherencia (Abo-Qudais y Al-Shweily, 2007a; Aksoy *et al*., 2005; Kandhal *et al*., 1989). Los aditivos anti-stripping se clasifican en los siguientes grupos: tenso-activos catiónicos, naftenato de hierro, cal hidratada, cemento Portland, entre otros. Actualmente incluso se están generando productos con nanotecnología que ayudan a repeler el agua dentro de la mezcla (p. ej. Nejad, *et al.*, 2012). De acuerdo con Sengoz y Agar (2007), el daño por humedad de mezclas en servicio ocurre algunas veces debido a que en ocasiones prevalece el criterio de disminuir el contenido de asfalto en la mezcla para contrarrestar el fenómeno de ahuellamiento. Estos autores concluyen que entre mayor sea el espesor de la película de asfalto adherida al agregado pétreo, mayor será la resistencia al daño por humedad. Jahromi (2009) reporta que asfaltos más viscosos son menos propensos al daño por humedad, adicionalmente afirma, al igual que Lee *et al.* (2011), que adiciones de cal mejoran la resistencia a este mecanismo de daño.

2.2 Planteamiento del diseño del experimento

Para el planteamiento del diseño del experimento, se definió la utilización de:

- Un (1) tipo de agregado pétreo que cumpla con los requisitos exigidos por las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción del IDU (IDU ET-2011).

- Una (1) granulometría perteneciente a la franja central de la curva granulométrica especificada por el IDU para la Mezcla Densa en Caliente tipo MD-12.
- Un (1) cemento asfáltico con penetración 60-70 de Barrancabermeja.
- Dos (2) productos disponibles en el mercado para la elaboración de las mezclas asfálticas tibias + Una (1) mezcla asfáltica de referencia.
- Dos (2) Estados de envejecimiento.

Es importante resaltar que, a la fecha, no se ha encontrado información precisa sobre los tiempos de reacción, las temperaturas de modificación, y las frecuencias de mezclado requeridas para la modificación del ligante.

Todas las mezclas se llevarán a un proceso de envejecimiento de corto plazo (STOA) y adicionalmente tres (3) de estas se someterán a un proceso de envejecimiento a largo plazo (LTOA).

Con base en los materiales y productos adquiridos, el diseño final del experimento concluye en la caracterización dinámica de las mezclas mostradas en la Tabla 4.

Tabla 4. Diseño Final del Experimento

Tipo Granular	Ligante	Granulometría	Producto utilizado	Estado de envejecimiento	Mezcla No.
- Fuente aluvial río Coello para grava de 1", ½", arena triturada y arena natural. - Fuente peña Melgar para grava de ¾". - Fuente peña Soacha para arena amarilla de peña.	Barrancabermeja 60-70	MD-12	Sin Producto	STOA	1
				STOA + LTOA	2
			Producto I	STOA	3
				STOA + LTOA	4
			Producto II	STOA	5
				STOA + LTOA	6

Teniendo en cuenta los parámetros descritos en la especificación técnica "Mezclas asfálticas en caliente densas, semidensas, gruesas y de alto módulo" sección 510-11 versión 2.0 del IDU, se escogió el valor medio de la franja granulométrica especificada para la mezcla MD-12 (ver Tabla 5 y Figura 15).

Tabla 5. Granulometría Mezcla Asfáltica tipo MD12

Tamiz		% que pasa
Normal	**Alterno**	
19,0 mm	3/4”	100
12,5 mm	1/2”	80 - 95
9,5 mm	3/8”	71 - 87
4,75 mm	No. 4	49 - 65
2,00 mm	No. 10	30 - 44
425 μm	No. 40	14 - 22
180 μm	No. 80	8 - 16
75 μm	No. 200	4 - 9

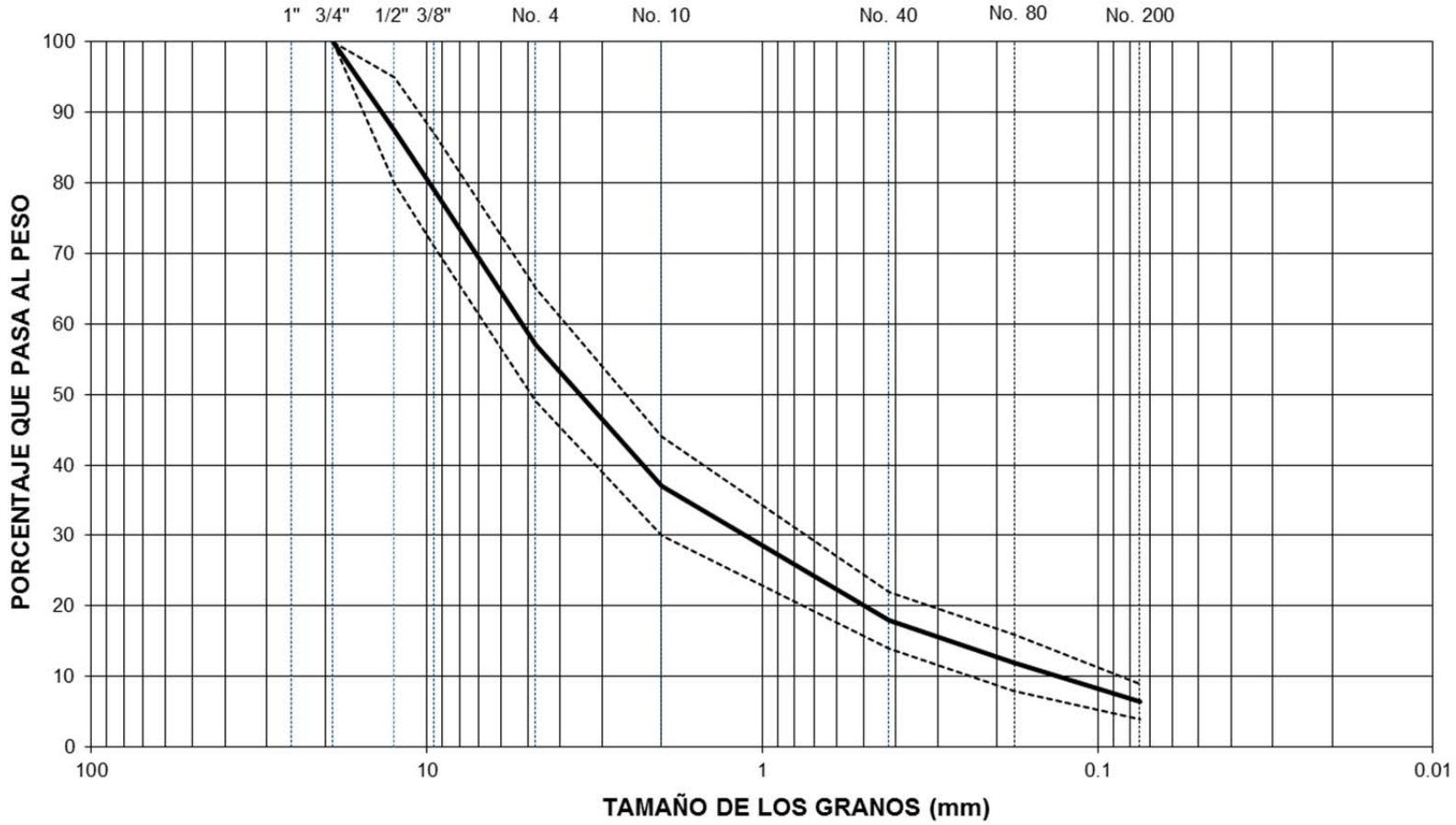


Figura 15. Curva Granulométrica Mezcla Asfáltica tipo MD12

En la Figura 16 y Figura 17 se muestran algunas imágenes del material granular separado por tamiz, en referencia a lo descrito anteriormente.

Figura 16. Arenas separadas por tamices

Figura 17. Agregado grueso separado por tamices

2.3 Adquisición de materiales y productos

En la Tabla 6 se muestran los materiales y productos necesarios para el desarrollo del proyecto.

Tabla 6. Materiales y productos

Materiales y Productos
Material Granular
Ligante Asfáltico (Barrancabermeja 60-70)
Producto I para mezcla tibia
Producto II para mezcla tibia

Para el caso de los materiales granulares y el ligante asfáltico (Barrancabermeja 60-70), se obtuvieron los siguientes materiales:

- Grava 1" fuente aluvial río Coello, planta Proymat Girardot (Ver Figura 18).
- Grava ¾" fuente peña, planta TS Melgar (Ver Figura 19).
- Grava ½" fuente aluvial río Coello, planta Proymat Girardot (Ver Figura 20).
- Arena triturada fuente aluvial río Coello, planta Proymat Girardot (Ver Figura 21).
- Arena natural fuente aluvial río Coello, planta Proymat Girardot (Ver Figura 22).
- Arena de peña fuente peña, planta Ivercot Soacha (Ver Figura 23).
- Ligante asfáltico Barrancabermeja 60-70 (Ver Figura 24).

Figura 18. Grava 1" fuente aluvial río Coello

Figura 19. Grava 3/4" fuente peña

Figura 20. Grava 1/2" fuente aluvial río Coello

Figura 21. Arena triturada fuente aluvial río Coello

Figura 22. Arena natural fuente aluvial río Coello

Figura 23. Arena fuente peña

Figura 24. Almacenamiento ligante asfáltico Barrancabermeja 60-70

En cuanto a los productos modificadores para la elaboración de las mezclas asfálticas tibias, y al consultar la disponibilidad en el mercado colombiano de aditivos para este propósito, se encontró que los productos que se están utilizando, al ser productos patentados, no son suministrados de forma individual como producto para ser adicionado al ligante, sino que proporcionan el ligante ya modificado. Motivo por el cual se acordó en comité quincenal entre el IDU y la PUJ que se trabajaría con los ligantes ya modificados entregados por el proveedor, en este caso Shell Colombia S.A., y no se procedería a la modificación de los mismos, tal como aparece en la metodología inicialmente planteada.

De acuerdo a lo tratado en los comités quincenales entre el IDU y la PUJ, y con el fin de proteger la información relacionada con los resultados que se deriven de esta investigación utilizando estos dos productos para la elaboración de mezclas asfálticas tibias, se acordó conveniente denotarlos como Producto I y Producto II. De estos modificadores se obtuvo aproximadamente un kilogramo del Producto I (emulsificante de asfalto de origen químico), y un kilogramo del Producto II (Mejorador de fluidez de origen químico), los cuales fueron donados por Shell Colombia S.A.; es oportuno mencionar que estos dos aditivos no son producidos por Shell Colombia S.A. En la Figura 25 y la Figura 26 se muestran estos productos.

Figura 25. Presentación Producto I

Figura 26. Presentación Producto II

2.4 Planteamiento de la metodología a utilizar

La metodología a utilizar parte de la adquisición de los materiales y productos descritos en el numeral 2.3 de este documento. Seguido a esto, se continuó con la etapa de caracterización de los materiales, en la que se están realizando los ensayos descritos en la Tabla 7 a la Tabla 10.

Tabla 7. Ensayos para caracterización de Agregados pétreos

Ensayo	Norma
Determinación del límite líquido de los suelos	INV E-125
Límite plástico e índice de plasticidad	INV E-126
Equivalente de arena	INV E-133
Determinación del contenido aproximado de materia orgánica	INV E-212
Desgaste de los agregados por medio de la máquina de Los Ángeles	INV E-218
Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio - solidez (5 ciclos)	INV E-220
Peso específico y absorción de agregados finos	INV E-222
Peso específico y absorción de agregados gruesos	INV E-223
Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10 % de Finos	INV E-224
Porcentaje de caras fracturadas en los agregados	INV E-227
Valor de azul de metileno en agregados finos y en llenante mineral	INV E-235
Determinación de la resistencia al desgaste utilizando el equipo Micro - Deval	INV E-238
Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influencia por forma de las partículas, textura de la superficie y gradación)	INV E-239
Método para determinar partículas planas, alargadas, o planas y alargadas en agregados gruesos	INV E-240

Tabla 8. Ensayos para caracterización del ligante asfáltico Barrancabermeja 60-70

Ensayo	Norma
Penetración de los materiales asfálticos	INV E-706
Ductilidad de los materiales asfálticos	INV E-702
Gravedad específica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos. Método del picnómetro	INV E-707
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)	INV E-712
Método para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional	INV E-717
DSR a la muestra original	AASHTO TP5-98
Viscosidad absoluta en DSR	-
Caracterización de ligante asfáltico envejecido en RTFO	
Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento	INV E-720
DSR, a la muestra envejecida con RTFO	AASHTO TP5-98
Penetración de los materiales asfálticos al residuo con RTFO	INV E-706
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) a la muestra envejecida con RTFO	-

Ensayo	Norma
Caracterización de ligante asfáltico envejecido en PAV	
Envejecimiento con PAV a la muestra envejecida con RTFO	INV E-751
DSR, a la muestra envejecida con RTFO y PAV	AASHTO TP5-98

Tabla 9. Ensayos para diseño del ligante modificado con el Producto I y el Producto II

Ensayo	Norma
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)	INV E-712
Método para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional	INV E-717
Viscosidad a corte cero (ZSV) utilizando DSR	-

Tabla 10. Ensayos para caracterización del ligante modificado con el Producto I y el Producto II

Ensayo	Norma
Penetración de los materiales asfálticos	INV E-706
Gravedad específica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos. Método del picnómetro	INV E-707
Caracterización de ligante asfáltico envejecido en RTFO	
Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento	INV E-720
DSR, a la muestra envejecida con RTFO	AASHTO TP5-98
Penetración de los materiales asfálticos al residuo después de RTFO	INV E-706
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) al residuo después de RTFO	INV E-712
Caracterización de ligante asfáltico envejecido en PAV	
Envejecimiento con PAV a la muestra envejecida en RTFO	INV E-751
DSR a la muestra envejecida en RTFO y PAV	AASHTO TP5-98

Al terminar la caracterización de materiales granulares y los ligantes asfálticos, comenzará la etapa de diseño de las mezclas asfálticas. Seguido a esto se elaborarán las mezclas asfálticas, las cuáles serán sometidas a un proceso de envejecimiento a corto plazo (STOA), para las mezclas 1, 3 y 5 (ver Tabla 4); y a un proceso de envejecimiento a corto plazo seguido de uno a largo plazo (STOA + LTOA) para mezclas 2, 4 y 6 (ver Tabla 4). Con la culminación de los procesos de envejecimiento, comenzará la etapa de caracterización y evaluación dinámica, para lo cual se plantea la ejecución de los ensayos presentados en la Tabla 11 para cada una de las mezclas mencionadas en la Tabla 4.

Tabla 11. Ensayos para caracterización y evaluación dinámica de mezclas asfálticas tibias

Ensayo	Norma
Módulo Dinámico	INV E-754
Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada)	EN 12697-24
TSR Resistencia de una mezcla bituminosa compactada al daño causado por humedad	INV E-725
Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio	INV E-756
Extracción cuantitativa de asfalto en mezclas para pavimentos	INV E-732
Recuperación de asfaltos usando el evaporador rotatorio	INV E-759
DSR (G*, δ)	AASHTO TP5-98

Finalmente, habiendo caracterizado las mezclas asfálticas tibias, se continuará con la etapa de análisis de resultados y planteamiento de conclusiones y recomendaciones, de esta forma terminando con la elaboración de la normativa y la divulgación de los resultados obtenidos.

3. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

3.1 Caracterización de agregados gruesos

Los agregados, también llamados áridos, son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento asfáltico conforman un todo compacto conocido como mezcla asfáltica.

Según la especificación técnica "Mezclas asfálticas en caliente densas, semidensa, gruesas, y de alto módulo" del instituto de desarrollo urbano IDU (2011b), sección 510-11, *Los agregados empleados para la ejecución de mezclas asfálticas en caliente deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa del material asfáltico a utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción combinada del agua y del tránsito. Cuando se empleen agregados con características hidrófilas, se deberá comprobar la adhesividad con el asfalto cumpliendo el requisito de resistencia conservada de la mezcla que se indica en el numeral 510.3.3 de la mencionada especificación técnica*.

Se denomina agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Dicho agregado deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto o afecten adversamente la durabilidad de la mezcla compactada (Instituto de desarrollo urbano IDU, 2011b).

Se realizó la caracterización de agregados gruesos procedentes de dos canteras representativas a las usadas en la producción de mezclas asfálticas en la ciudad de Bogotá, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 12. Precedencia de agregados gruesos

Cantera No.	Código de muestra	Descripción	Procedencia
1	P024-2 y P025-2	Grava de 1" fuente aluvial	Rio Coello
2	P024-3 y P025-3	Grava 3/4" fuente peña	Planta TS Melgar
1	P024-4 y P025-4	Grava de 1/2" fuente aluvial	Rio Coello

A los materiales mostrados en la Tabla 1 se les realizaron los siguientes ensayos de caracterización:

- Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles.
- Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio - solidez (5 ciclos).
- Peso específico y absorción de los agregados gruesos.
- Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10 % de finos.
- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados.
- Determinación de la resistencia al desgaste utilizando el equipo Micro-Deval.
- Método para determinar partículas planas, alargadas, o planas y alargadas.

Los reportes de laboratorio correspondientes a los ensayos de caracterización de los agregados gruesos se encuentran en el ANEXO B.

3.1.1 Resistencia al desgaste por medio de la máquina de Los Ángeles

El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva. Ha sido ampliamente usado como un indicador de la calidad relativa o la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos de similares composiciones mineralógicas. Los resultados no brindan automáticamente comparaciones válidas entre fuentes marcadamente diferentes en origen, composición o estructura (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007y). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-218.

En la Figura 27 se presenta el desarrollo del ensayo de resistencia al desgaste por medio de la máquina de Los Ángeles, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 27. Ensayo de resistencia al desgaste por medio de la máquina de Los Ángeles

3.1.2 Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio

Este ensayo se emplea para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguido de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables. La fuerza de expansión interna derivada de la rehidratación de la sal después de la re inmersión simula la expansión del agua por congelamiento. Mediante este método se puede obtener una información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007aa). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-220.

En la Figura 28 se presenta el desarrollo del ensayo Sanidad de los agregados gruesos frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 28. Ensayo de Sanidad de los agregados gruesos frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio

3.1.3 Peso específico y absorción

Dentro de las propiedades físicas de los agregados que dependen directamente de las propiedades de la roca original de donde provienen, se encuentra la densidad, la cual está definida como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, y la absorción, que representa la masa del agua que llena los poros permeables de las partículas de agregado sin incluir el agua adherida a la superficie de las mismas (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007o). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-223.

En la Figura 29 se presenta el desarrollo del ensayo para calcular el peso específico y la absorción de los agregados gruesos, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 29. Ensayo para calcular el peso específico y la absorción de los agregados gruesos

3.1.4 Evaluación de la resistencia mecánica de los agregados gruesos por el método de 10% de finos

Este ensayo se emplea para evaluar la resistencia mecánica de un agregado grueso a la trituración al ser sometido a esfuerzo de compresión, determinando la carga necesaria, para producir en el agregado grueso, un 10% de finos, que son constituidos por el material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No 8) después de ser sometido a esta prueba (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007j). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-224.

En la Figura 30 se presenta el desarrollo del ensayo de evaluación de la resistencia mecánica de los agregados gruesos por el método de 10% de finos, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 30. Ensayo de evaluación de la resistencia mecánica de los agregados gruesos por el método de 10% de finos

3.1.5 Porcentaje de caras fracturadas en los agregados

Este método proporciona un procedimiento estandarizado para determinar la aceptabilidad de los agregados gruesos respecto de los requisitos de algunas especificaciones en relación a su porcentaje de partículas fracturadas, esto con el propósito de incrementar la resistencia al corte incrementando la fricción entre partículas en mezclas de agregado ligadas o no ligadas, dar estabilidad a los agregados usados en tratamientos superficiales y proporcionar mayor fricción y textura para agregados usados en capas superficiales de pavimento (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007u). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-227.

En la Figura 31 se presenta el desarrollo del ensayo para calcular el porcentaje de caras fracturadas en los agregados, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 31. Ensayo para calcular el porcentaje de caras fracturadas en los agregados

3.1.6 Determinación de la resistencia al desgaste utilizando el equipo Micro-Deval

Este método proporciona una medida de la resistencia a la abrasión y durabilidad de agregados pétreos al someter los agregados gruesos a la acción combinada de abrasión y molienda con bolas de acero en presencia de agua (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007c). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-238.

En la Figura 32 se presenta el desarrollo del ensayo para determinar la resistencia al desgaste utilizando el equipo Micro-Deval, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 32. Ensayo para determinar la resistencia al desgaste utilizando el equipo Micro-Deval

3.1.7 Método para determinar partículas planas, alargadas, o planas y alargadas

En algunos usos de construcción, las partículas planas o alargadas de los agregados pueden interferir en la compactación y dificultar la colocación el material. Este método de ensayo provee un mecanismo para verificar el cumplimiento de las especificaciones que limitan tales partículas o para determinar las características de forma relativa de agregados gruesos (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007s). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-240.

En la Figura 33 se presenta el desarrollo del ensayo para determinar partículas planas, alargadas, o planas y alargadas, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 33. Ensayo para determinar partículas planas, alargadas, o planas y alargadas

3.2 Caracterización de agregados finos

Se denomina agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm (No. 4) y 75 µm (No. 200). El agregado fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no podrá exceder los límites establecidos en la Tabla 510.2. de la sección 510-11 de la especificación técnica “Mezclas asfálticas en caliente densas, semidensa, gruesas, y de alto módulo” del instituto de desarrollo urbano-IDU. Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en la tabla mencionada anteriormente, cualquiera sea la capa de mezcla asfáltica en caliente en la cual se utilice (Instituto de desarrollo urbano IDU, 2011b).

Se realizó la caracterización de agregados finos procedentes de dos canteras representativas a las usadas en la producción de mezclas asfálticas en la ciudad de Bogotá, tal como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Precedencia de agregados finos

Cantera No.	Código de muestra	Descripción	Procedencia
1	P024-5 y P025-5	Arena triturada fuente aluvial	Rio Coello
1	P024-6 y P025-6	Arena natural fuente aluvial	Rio Coello
3	P024-7 y P025-7	Arena natural fuente peña	Planta Ivercot Soacha

A los materiales mostrados en la Tabla 13 se les realizaron los siguientes ensayos de caracterización:

- Límite líquido de los suelos.
- Límite plástico e índice de plasticidad.
- Equivalente de arena.
- Determinación del contenido aproximado de materia orgánica.
- Peso específico y absorción de los agregados finos.
- Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio - solidez (5 ciclos).
- Valor de azul de metileno en agregados finos y en llenante mineral.
- Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influencia por forma de las partículas, textura de la superficie y gradación).

Los reportes de laboratorio correspondientes a los ensayos de caracterización de los agregados finos se encuentran en el ANEXO C.

3.2.1 Determinación del límite líquido de los suelos

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se encuentra en el límite entre el estado líquido y el estado plástico (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007e). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-125.

En la Figura 34 se presenta el desarrollo del ensayo para determinar el límite líquido de los suelos, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

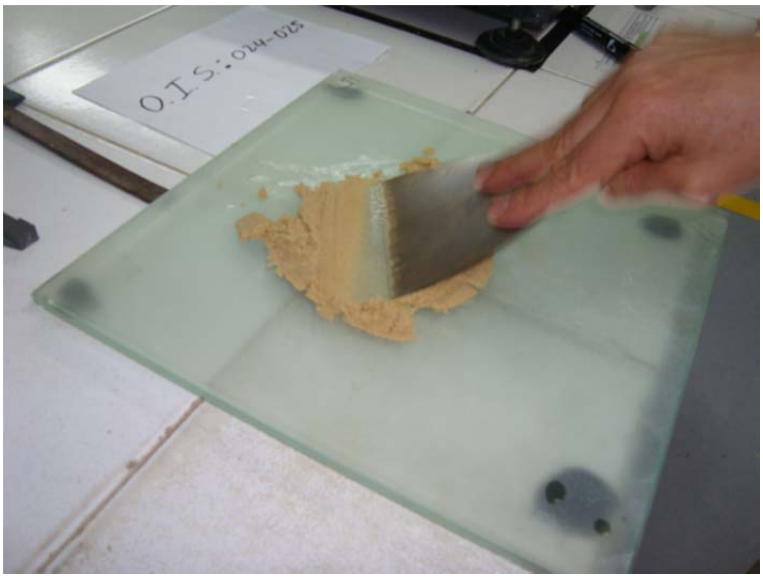


Figura 34. Ensayo para determinar el límite líquido de los suelos

3.2.2 Determinación del límite plástico e índice de plasticidad

El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, determinado por este procedimiento, en el cual el suelo permanece en estado plástico. El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007p). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-126.

En la Figura 35 se presenta el desarrollo del ensayo para determinar el límite plástico e índice de plasticidad, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 35. Ensayo para determinar el límite plástico e índice de plasticidad

3.2.3 Equivalente de arena

Este procedimiento tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Permite determinar rápidamente, en el campo, variaciones de calidad de los agregados durante la producción o la colocación (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007i). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-133.

En la Figura 36 se presenta el desarrollo del ensayo de equivalente de arena, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 36. Ensayo de equivalente de arena

3.2.4 Determinación del contenido aproximado de materia orgánica

Este método busca determinar de manera aproximada, la presencia de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de mezclas. La importancia de este método de ensayo está en el hecho de proporcionar una advertencia sobre las impurezas orgánicas que puedan estar presentes en el material. Cuando una muestra sujeta a este ensayo produce un color más oscuro que el color estándar, es aconsejable ejecutar la prueba para determinar el efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia de la mezcla (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007b). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-212.

En la Figura 37 se presenta el desarrollo del ensayo para determinar el contenido aproximado de materia orgánica, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 37. Ensayo para determinar el contenido aproximado de materia orgánica

3.2.5 Peso específico y absorción de los agregados finos

Este método proporciona el procedimiento a seguir para la determinación de gravedades específicas bulk y aparente 23 /23°C, así como la absorción de agregados finos (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007n). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-222.

En la Figura 38 y la Figura 39 se presenta el desarrollo del ensayo para calcular el peso específico y absorción de los agregados finos, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 38. Ensayo para calcular el peso específico y absorción de los agregados finos

Figura 39. Ensayo para calcular el peso específico y absorción de los agregados finos

3.2.6 Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio

Este ensayo se emplea para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguido de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables. La fuerza de expansión interna derivada de la rehidratación de la sal después de la re inmersión simula la expansión del agua por congelamiento. Mediante este método se puede obtener una información útil para juzgar la calidad de los

agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007aa). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-220.

En la Figura 40 y la Figura 41 se presenta el desarrollo del ensayo Sanidad de los agregados finos frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 40. Ensayo de Sanidad de los agregados finos frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio

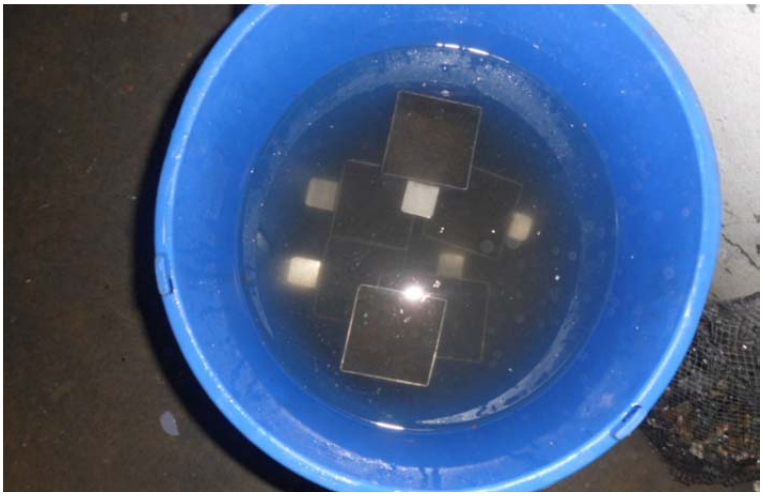


Figura 41. Ensayo de Sanidad de los agregados finos frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio

3.2.7 Valor de azul de metileno en agregados finos y el llenante mineral

Este procedimiento busca determinar la cantidad de material potencialmente dañino (incluyendo arcilla y material orgánico) presente en la fracción fina de un agregado mediante la determinación del valor de azul de metileno (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007ab). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-235.

En la Figura 42 se presenta el desarrollo del ensayo para determinar el valor de azul de metileno de los agregados finos y el llenante mineral, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 42. Ensayo para determinar el valor de azul de metileno de los agregados finos y el llenante mineral

3.2.8 Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados

Este ensayo busca determinar el contenido de vacíos de una muestra de agregado fino no compactada. Cuando es medido en cualquier agregado de gradación conocida, el contenido de vacíos provee una indicación de la angularidad de ese agregado, esfericidad y textura de la superficie que pueden ser comparadas con las de otros agregados finos ensayados con la misma gradación. Cuando el contenido de vacíos es medido en un agregado fino con gradación tal como se recibe, este puede ser un indicador del efecto del agregado fino en la manejabilidad de una mezcla en la cual puede ser empleado (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007d). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-239.

En la Figura 43 se presenta el desarrollo del ensayo para determinar el contenido de vacíos en agregados finos no compactados, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 43. Ensayo para determinar el contenido de vacíos en agregados finos no compactados

3.2.9 Análisis granulométrico de suelos por tamizado

El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo. En este ensayo se describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 75 µm (No.200) (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007a). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-123.

3.3 Caracterización del ligante asfáltico Barrancabermeja 60-70

El cemento asfáltico es un producto bituminoso semi–sólido a temperatura ambiente, preparado a partir de hidrocarburos naturales mediante un proceso de destilación, el cual contiene una proporción muy baja de productos volátiles, posee propiedades

aglomerantes y es esencialmente soluble en tricloroetileno (Instituto de desarrollo urbano IDU, 2011a).

La designación del cemento asfáltico está asociada con su grado de penetración en décimas de mm. Con base en lo anterior y de acuerdo con la disponibilidad de los asfaltos producidos en Colombia, existen tres categorías de cemento asfáltico: 40-50, 60-70 u 80-100 (Instituto de desarrollo urbano IDU, 2011a).

El asfalto 60-70 es una mezcla de asfaltos refinados de alta calidad con aditivos para mejorar sus características de penetración, adhesividad y viscosidad. Gracias a su poder aglutinante sobre materiales pétreos es aplicado en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente, para la construcción y mantenimiento de carreteras (Shell Colombia S.A., 2013).

Dentro de sus características más importantes se encuentran:

- Menor susceptibilidad térmica.
- Resistente a la deformación permanente.
- Mayor adhesividad sobre agregados pétreos.
- En su manufactura se han incorporado aditivos para mejorar su viscosidad.
- Almacenamiento estable.

El asfalto 60-70 es normalmente usado en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente, en la fabricación de emulsiones asfálticas y grasas asfálticas y sirve como materia prima en la elaboración de impermeabilizantes y asfaltos modificados.

Se realizó la caracterización de un ligante asfáltico procedente de la refinería de Barrancabermeja, el cual es representativo al asfalto usado en la producción de mezclas asfálticas en la ciudad de Bogotá, tal como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Precedencia del ligante asfáltico 60-70

Código de muestra	Descripción	Procedencia
P024-1 y P025-1	Ligante asfáltico Barrancabermeja 60-70	Refinería Barrancabermeja

Al material mostrado en la Tabla 14 se le realizaron los siguientes ensayos de caracterización:

- Penetración de los materiales asfálticos.
- Ductilidad de los materiales asfálticos.
- Gravedad específica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos.

- Punto de ablandamiento de materiales bituminosos.
- Método para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional.
- Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento.
- Medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico.

Los reportes de laboratorio correspondientes a los ensayos de caracterización del ligante asfáltico de Barrancabermeja 60-70 se encuentran en el ANEXO D.

3.3.1 Penetración de los materiales asfálticos

Este ensayo describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la consistencia de los materiales asfálticos sólidos o semisólidos en los cuales el único o el principal componente es un asfalto. Básicamente, El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia del ligante en donde altos valores de penetración indican consistencias más blandas (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007t). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-706.

En la Figura 44 se presenta el desarrollo del ensayo de penetración de los materiales asfálticos, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 44. Ensayo de penetración de los materiales asfálticos

3.3.2 Ductilidad de los materiales asfálticos

El ensayo de ductilidad del asfalto mide la deformación máxima que alcanza una muestra estandarizada al ser estirada a una velocidad y temperatura constante hasta el instante de su ruptura (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007f). La ductilidad debe ser mayor de 100cm, para los asfaltos endurecidos ésta tiende a disminuir. Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-702.

En la Figura 45 se presenta el desarrollo del ensayo de ductilidad de los materiales asfálticos, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

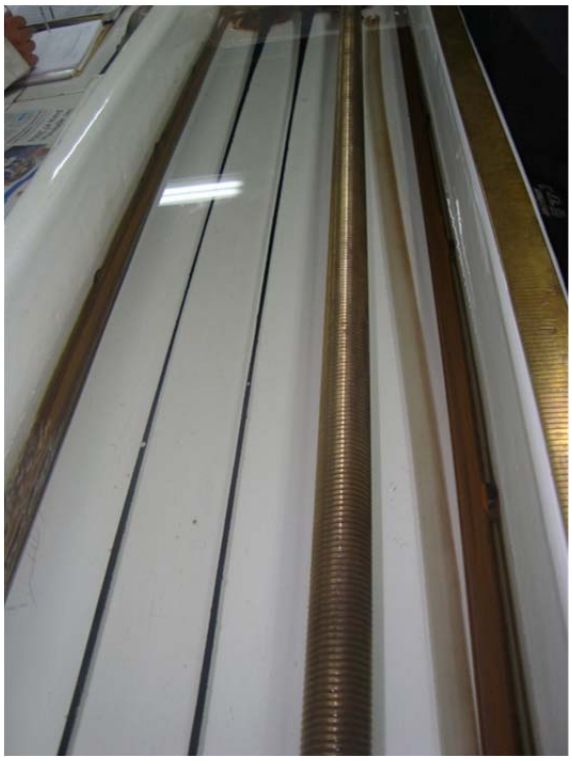


Figura 45. Ensayo de ductilidad de los materiales asfálticos

3.3.3 Gravedad específica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos

Este ensayo muestra el procedimiento que se deben seguir para la determinación de la Densidad y Gravedad Especifica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos. Los valores de densidad son usados para realizar conversiones de unidades de volumen a masa y para realizar correcciones en las medidas de volumen cuando la temperatura de medida de ensayo difiere de la temperatura de ejecución del mismo (Instituto Nacional de

Vías INVIAS, 2007m). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-707.

En la Figura 46 se presenta el desarrollo del ensayo para determinar la gravedad específica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

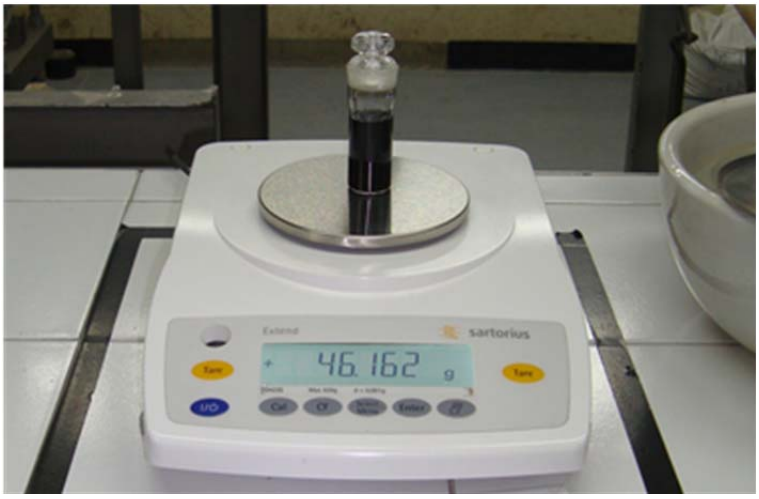


Figura 46. Ensayo para determinar la gravedad específica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos

3.3.4 Punto de ablandamiento de materiales bituminosos

Básicamente el ensayo mide de forma indirecta la consistencia del asfalto y sirve para calcular una característica reológica importante como es el índice de penetración. Equivale a la temperatura a la cual una muestra cilíndrica de asfalto alcanza una deformación prefijada bajo la carga de una bola de acero. El punto de ablandamiento es útil para clasificar productos bituminosos y es un valor índice de la tendencia del material a fluir cuando está sometido a temperaturas elevadas, durante su vida de servicio (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007v). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-712.

En la Figura 47 se presenta el desarrollo del ensayo para determinar el punto de ablandamiento de materiales bituminosos, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

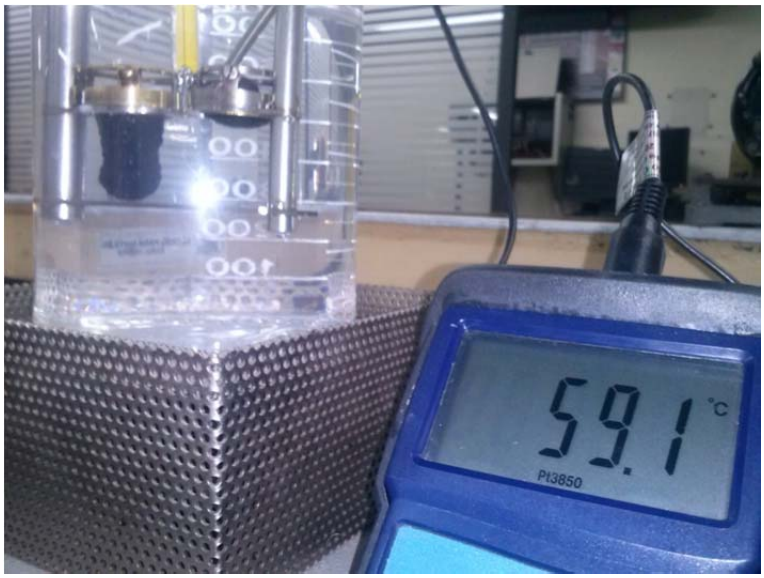


Figura 47. Ensayo para determinar el punto de ablandamiento de materiales bituminosos

3.3.5 Método para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional

Este método de ensayo ha sido usado para medir la viscosidad aparente de asfaltos al aplicar temperatura. La medida de viscosidad a altas temperaturas ha sido usada para determinar la manejabilidad y facilidad de bombeo en la refinería, terminal o planta asfáltica. Los valores medidos mediante este procedimiento se pueden utilizar para desarrollar diagramas de temperatura contra viscosidad, los cuales se utilizan para estimar las temperaturas de mezclado y compactación a utilizar durante el diseño y construcción de mezclas asfálticas en caliente (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007r). (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007v). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-717.

En la Figura 48 se presenta el desarrollo del ensayo para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 48. Ensayo para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional

3.3.6 Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento

Este método se emplea para medir el efecto del calor y del aire, sobre una lámina delgada en movimiento, de materiales asfálticos semisólidos. Indica el cambio producido en las propiedades del asfalto durante el proceso convencional de mezclado en caliente, aproximadamente a una temperatura de 150° C (302° F), mediante medición de la viscosidad. Lo anterior produce un residuo que se aproxima a la condición del asfalto, cuando se incorpora en el pavimento (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007h). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-720.

En la Figura 49 se presenta el desarrollo del ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

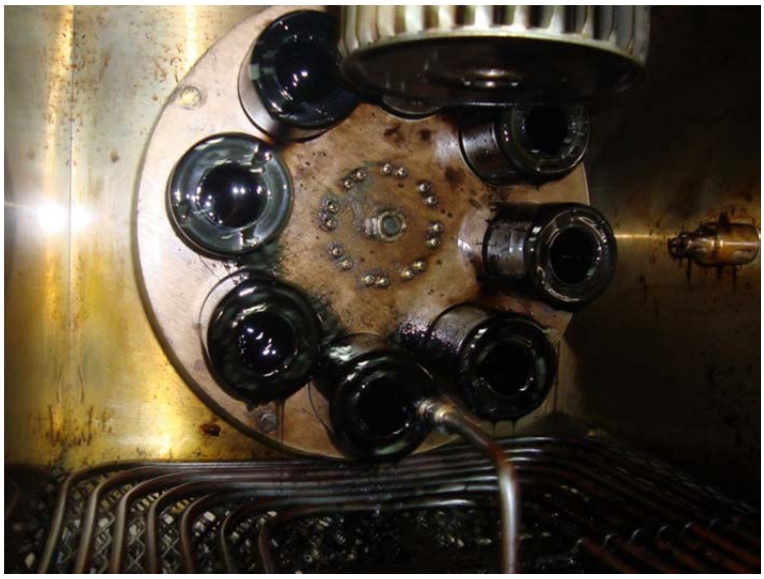


Figura 49. Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento

3.3.7 Medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico

Este método cubre la determinación del módulo de corte dinámico y el ángulo de fase de un ligante asfáltico cuando es ensayado al corte dinámico (oscilatorio), utilizando una geometría de prueba de platos paralelos. El módulo complejo de corte es un indicador de la rigidez o resistencia del ligante asfáltico a la deformación bajo carga. El módulo complejo de corte y el ángulo de fase definen la resistencia a la deformación de corte de un ligante asfáltico en la región lineal viscoelástica y se usan para determinar criterios relacionados con el desempeño, de acuerdo con las especificaciones Superpave (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007q). Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma INV E-750.

En la Figura 50 se presenta el desarrollo del ensayo para la medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 50. Ensayo para la medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico

3.4 Caracterización de los ligantes modificados para la creación de mezclas tibias con los productos I y II

En referencia con los descrito en el informe de Etapa 1 "Metodología y diseño del experimento" las mezclas asfálticas tibias resultan ser una alternativa viable para reducir, inicialmente, entre un 20% a un 35% el consumo de combustibles requeridos en la fabricación de las mismas, esperándose una reducción a largo plazo del 50% (Blades, 2009); lo anterior permitirá generar un ahorro en el costo de combustible superior al 40% (Estakhri *et al*., 2009).

Teniendo en cuenta lo anterior, se seleccionaron dos ligantes asfálticos modificados para la creación de mezclas asfálticas tibias, los cuales serán llamados asfaltos modificados para mezclas tibias con el producto I y II. El ligante asfáltico modificado con el producto I, es un asfalto de base Barrancabermeja 60-70 al que se le adicionó aditivo de origen químico que emulsifica el asfalto. El ligante asfáltico modificado con el producto II, es un asfalto de base Barrancabermeja 60-70 con una adición de un aditivo de origen químico que se encarga de mejorar la fluidez del ligante.

Se realizó la caracterización de estos dos ligantes asfálticos los cuales son comercializados en la ciudad de Bogotá, tal como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Descripción y código de ligantes asfálticos modificados para la creación de mezclas tibias

Código de muestra	Descripción
P025-13	Ligante asfáltico modificado con producto I
P025-12	Ligante asfáltico modificado con producto II

A los materiales mostrados en la Tabla 15 se le realizaron los ensayos de caracterización descritos en el numeral 3.3 del presente documento.

Para el caso del ligante asfáltico modificado con el producto II se presentaron inconvenientes durante la realización del Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento para lograr el envejecimiento a corto plazo RTFO, debido a que la consistencia del asfalto hizo que éste se derramara durante la ejecución del ensayo. En la Figura 51 a la Figura 53 se presenta el registro de los problemas encontrados durante la realización del ensayo mencionado.

Los reportes de laboratorio correspondientes a los ensayos de caracterización de los ligantes modificados para la creación de mezclas tibias con los productos I y II se encuentran en el ANEXO E y el ANEXO F, respectivamente.

Figura 51. Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento para ligante modificado con el producto II a)

Figura 52. Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento para ligante modificado con el producto II b)

Figura 53. Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento para ligante modificado con el producto II c)

4. ELABORACIÓN, CARACTERIZACIÓN, Y EVALUACIÓN DINÁMICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS

4.1 Diseños de mezcla

Una mezcla asfáltica en caliente es la combinación de agregados pétreos de granulometría bien gradada, uniformemente mezclados en caliente con cemento asfáltico. En Colombia, las mezclas de concreto asfáltico se clasifican en cuatro categorías de acuerdo con las especificaciones técnicas "Mezclas asfálticas en caliente densas, semidensa, gruesas, y de alto módulo" del Instituto de Desarrollo Urbano – IDU (2011b):

- Mezcla densa en caliente (MD).
- Mezcla semi-densa en caliente (MS).
- Mezcla gruesa en caliente (MG).
- Mezcla de alto módulo (MAM).

En esta especificación, la designación de las mezclas asfálticas se compone de una combinación de letras mayúsculas y números arábigos. Las letras se refieren al tipo de mezcla y su temperatura de preparación y colocación, en tanto que los números dependen del tamaño máximo nominal del agregado pétreo, definido como el número entero, en milímetros, que más se acerca a la abertura del primer tamiz que retiene de forma acumulada más de diez por ciento (10%), en masa, del agregado.

El agregado pétreo utilizado para la elaboración de las mezclas asfálticas debe satisfacer los requisitos de granulometría, calidad del agregado grueso y calidad del agregado fino (Tablas 510.1, 510.2, y 510.4 de la especificación técnica "Mezclas asfálticas en caliente densas, semidensa, gruesas, y de alto módulo" del Instituto de Desarrollo Urbano – IDU, (2011b)).

El ligante asfáltico utilizado para la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente debe cumplir los requisitos de calidad presentados en la Tabla 200.1 de la especificación técnica "Cemento asfáltico" (2011a) del Instituto de Desarrollo Urbano – IDU.

El diseño de la mezcla de control o de referencia MD12 con asfalto Barrancabermeja 60-70 se realizó por medio de la metodología Marshall (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007z), teniendo en cuenta los criterios que se presentan en la Tabla 510.8 de la especificación técnica "Mezclas asfálticas en caliente densas, semidensa, gruesas, y de alto módulo" del Instituto de Desarrollo Urbano – IDU (2011b). En esta metodología se mide la resistencia de la mezcla en tensión bajo carga monotónica, además de la

porosidad, densidad y el porcentaje óptimo de asfalto que debe presentar la mezcla para su respectivo diseño. Adicionalmente se deben realizar unas consideraciones adicionales para el diseño de este tipo de mezcla, las cuales son:

- La resistencia a tracción de la mezcla (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007k) en curado húmedo debe ser al menos 80% de la alcanzada bajo condición seca. La relación TSR en % (resistencia a tracción seco/húmedo) que experimentaron las mezclas estudiadas se muestra en el numeral 4.2.3.
- Para capas de rodadura e intermedia en vías con bajos volúmenes de tránsito, y para mezclas de alto módulo (MAM), la velocidad de deformación en el ensayo de resistencia a la deformación plástica mediante la pista de laboratorio (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007x) no podrá ser mayor de 15 µm/min para mezclas que se vayan a emplear en zonas donde la temperatura media anual es superior a 24° C, ni mayor de 20 µm/min para regiones con temperaturas hasta de 24° C. La velocidad de deformación permanente que experimentaron las mezclas estudiadas se presentan en el numeral 4.2.4.

Para el caso específico de este proyecto se realizó el diseño de la mezcla MD12 con cemento asfáltico Barrancabermeja 60-70 mediante la metodología Marshall. Adicionalmente se efectuó un análisis con el fin de definir las temperaturas de mezcla y compactación de las mezclas tibias con asfalto Barrancabermeja 60-70 modificado con el producto I y con asfalto Barrancabermeja 60-70 modificado con el producto II tomando como base el contenido óptimo de asfalto establecido en el diseño de la mezcla de referencia. Estos resultados son presentados en los numerales 4.1.1 a 4.1.3.

En la Figura 54 y la Figura 55 se presenta el desarrollo del ensayo de resistencia de la mezcla asfáltica de referencia mencionada anteriormente empleando el aparato Marshall, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 54. Ensayo de resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall

Figura 55. Ensayo de resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall

Con el fin de conocer la temperatura de mezclado y compactación de las mezclas MD12 con los asfaltos modificados con el producto I y II para la creación de mezclas asfálticas tibias, y teniendo en cuenta que no existe un procedimiento estandarizado para determinar dichas temperaturas, se realizaron pruebas de estabilidad, flujo y vacíos de aire a las mezclas mencionadas a una temperatura de mezclado de 150° C y a temperaturas de compactación (diferentes especímenes) de entre 150° y 90° C (variando cada 10° C), con el fin de conocer el comportamiento de dichas mezclas. Los análisis de estos resultados son presentados en los numerales 4.1.2 a 4.1.3.

4.1.1 Diseño de la mezcla MD12 con cemento asfáltico Barrancabermeja 60-70

En la Tabla 16 se presentan los resultados de los diseños de la mezcla MD12 con ligante asfáltico Barrancabermeja 60-70 usando como llenante mineral el material proveniente de la trituración de agregados pétreos. Los reportes de laboratorio correspondientes a estos diseños de mezcla se encuentran en el ANEXO F.

Tabla 16. Características diseño de mezcla MD12 Barrancabermeja 60-70

Característica	Unidad	Especificación	Diseño
Contenido óptimo de asfalto	%	-	5,40
Estabilidad	kg	≥ 900	1640,00
Densidad	kg/m^3	-	2334,00
Flujo	mm	2,0-3,5	3,6
Relación estabilidad / flujo	kg/mm	300-600	455,60
Vacíos con aire	%	4,0-6,0	4.00
Vacíos llenos de asfalto	%	65-75	73.0
Vacíos en agregado mineral	%	≥ 15	14.3

4.1.2 Análisis de temperaturas de mezcla y compactación para la mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto I

Con el fin de conocer la temperatura de mezcla y compactación de la mezcla MD12 con el asfalto modificado con el producto I para la creación de mezclas tibias, y teniendo en cuenta que no existe un procedimiento estandarizado para determinar dichas temperaturas, se realizaron pruebas de estabilidad, flujo y vacíos de aire a la mezcla mencionada elaborada a 150° C y compactada (diferentes especímenes) a temperaturas entre 150° y 90° C.

En la Tabla 17 se presenta un resumen de los resultados de las pruebas de estabilidad, flujo y vacíos de aire realizados a la mezcla MD12 con asfalto modificado con el producto I a temperaturas de compactación de 90°,100°, 110°, 120°, 130°, 140° y 150° C. Los reportes de laboratorio correspondientes a estos diseños de mezcla se encuentran en el ANEXO H.

Tabla 17. Valores promedio de estabilidad, flujo, vacíos de aire y relación estabilidad/flujo para MD12 con asfalto modificado con el producto I para 90,100, 110, 120, 130, 140 y 150° C.

Temperatura (° C)	Estabilidad (kgf)	Flujo (mm)	Vacíos de aire (%)	E/F (kgf/mm)
90	751,50	3,43	9,38	219,26
100	1064,25	3,62	7,68	293,99
110	1293,75	3,62	7,13	357,39
120	1681,25	3,81	5,40	441,27
130	1812,25	3,49	4,98	518,90
140	1788,50	3,43	4,85	521,43
150	1842,00	3,81	3,78	483,46

Con base en los datos mostrados anteriormente, en la Figura 56 a la Figura 59 se puede ver la tendencia de la estabilidad, el flujo, los vacíos de aire, y la relación estabilidad-flujo de la mezcla respecto a la temperatura de compactación.

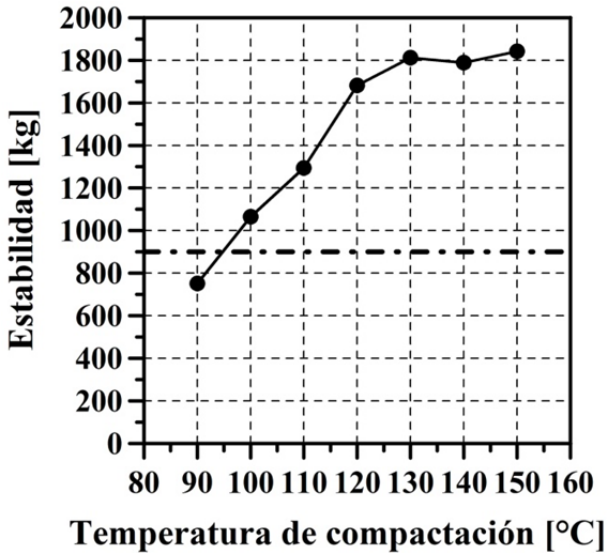


Figura 56. Estabilidad Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto I a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C

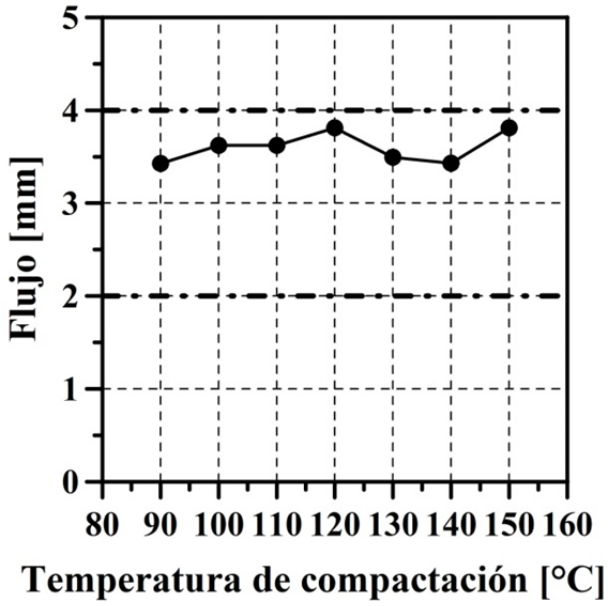


Figura 57. Flujo Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto I a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C

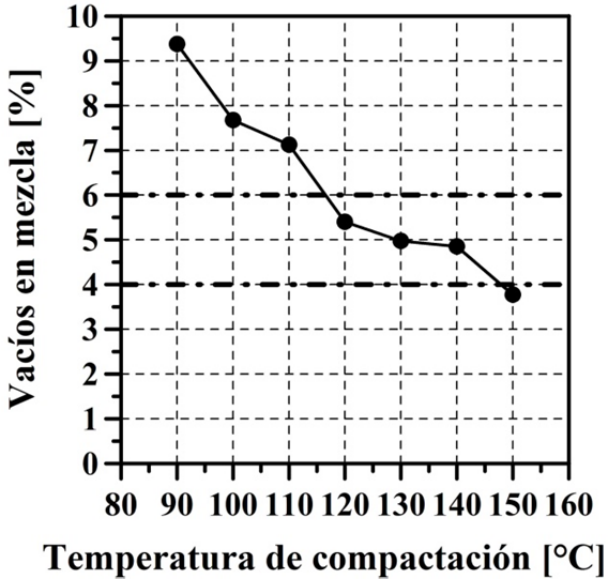


Figura 58. Vacíos de aire Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto I a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C

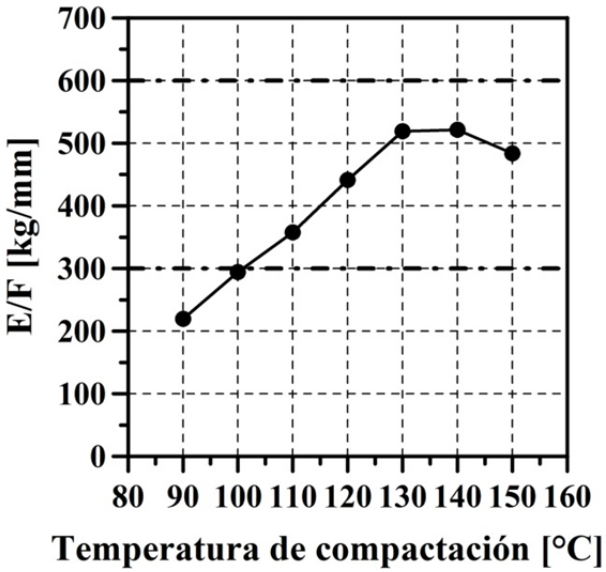


Figura 59. Relación Estabilidad/Flujo Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto I a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C

Con base en los resultados anteriores, se puede observar que los parámetros de estabilidad, flujo, vacíos de aire y la relación estabilidad-flujo cumplen con los valores especificados para una mezcla asfáltica en caliente para todos los especímenes que fueron compactados por encima de 120° C. Según lo acordado en el comité de avance de gestión del 20 de Junio de 2013, y con los resultados obtenidos, se puede establecer que para la mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto I, la temperatura de compactación será de 120° C, y la de mezclado de 130° C. Esta temperatura de mezclado fue escogida debido a que, de manera general, la diferencia entre estas dos temperaturas es aproximadamente 10° C.

4.1.3 Análisis de temperaturas de mezcla y compactación para la mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto II

Siguiendo el mismo procedimiento desarrollado en la mezcla MD12 con asfalto modificado con el producto I (numeral 4.1.2), se realizaron las pruebas de estabilidad, flujo y vacíos de aire a la mezcla MD12 con el asfalto modificado con el producto II, con el fin de obtener las temperaturas de mezcla y compactación más convenientes. En la Tabla 18 se presenta un resumen de los resultados promedio de las pruebas mencionadas a temperaturas de compactación de 90°,100°, 110°, 120°, 130°, 140° y 150° C.

Tabla 18. Resultados promedio de estabilidad, flujo, vacíos de aire y relación estabilidad/flujo para MD12 con asfalto modificado con el producto II para 90,100, 110, 120, 130, 140 y 150° C.

Temperatura (° C)	Estabilidad (kgf)	Flujo (mm)	Vacíos de aire (%)	E/F (kgf/mm)
90	866,25	2,54	6,40	341,04
100	1137,25	2,86	6,30	397,99
110	1278,50	2,92	6,40	437,84
120	1402,00	3,30	5,90	424,53
130	1846,00	3,30	5,60	559,39
140	1745,00	3,05	5,00	572,13
150	1762,50	3,11	4,45	566,27

Con base en los datos mostrados anteriormente, en la Figura 60 a la Figura 63 se puede ver la tendencia de la estabilidad, el flujo, los vacíos de aire, y la relación estabilidad-flujo de la mezcla respecto a la temperatura de compactación.

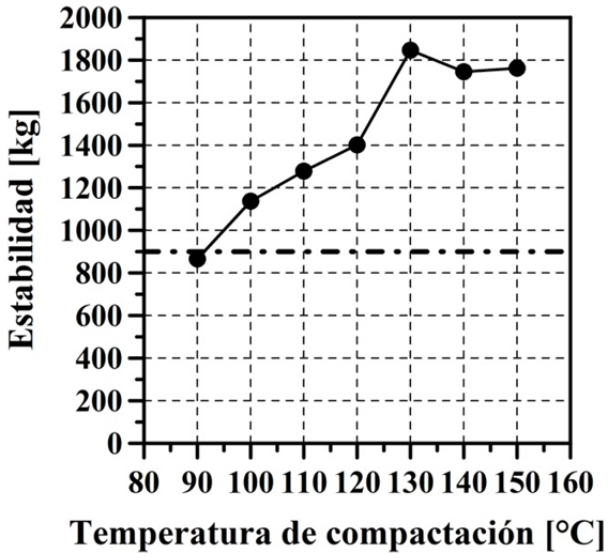


Figura 60. Estabilidad Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto II a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C

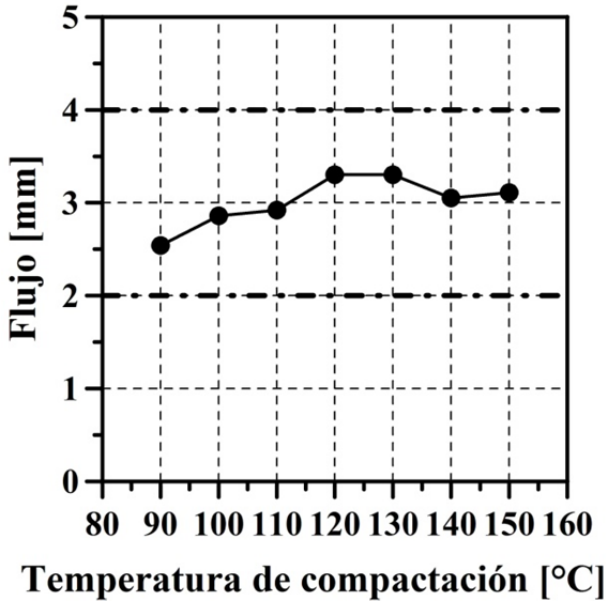


Figura 61. Flujo Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto II a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C

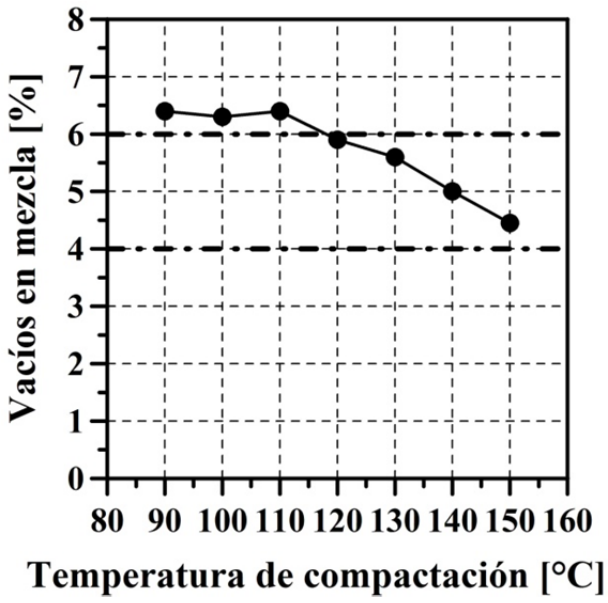


Figura 62. Vacíos de aire Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto II a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C

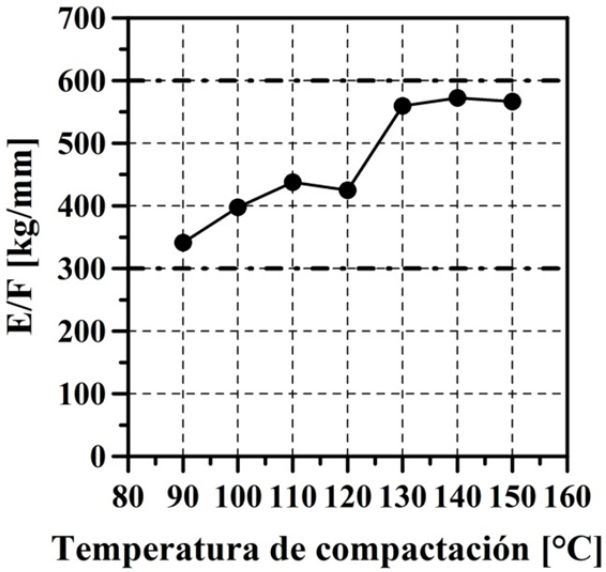


Figura 63. Relación Estabilidad/Flujo Mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto II a 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150° C

Con base en los resultados anteriores, y similar a los resultados obtenidos con el producto I, se puede observar que los parámetros de estabilidad, flujo, vacíos de aire y relación estabilidad-flujo cumplen con los valores especificados para una mezcla asfáltica en caliente para todos los especímenes que fueron compactados por encima de 120°C. Por lo anterior y teniendo en cuenta lo expuesto en los comités de avance de gestión del 20 de Junio y 11 de Julio de 2013, se puede establecer que para la mezcla MD12 con asfalto modificado para mezclas tibias con el producto II, la temperatura de compactación será de 120° C, y la de mezclado de 130° C. Esta temperatura de mezclado fue escogida debido a que, de manera general, la diferencia entre estas dos temperaturas es aproximadamente 10° C.

4.2 Caracterización de mezclas asfálticas

Con el fin de realizar la caracterización y evaluación dinámica de la mezcla asfáltica en caliente MD12 con asfalto Barrancabermeja 60-70 (mezcla de referencia), y las mezclas asfálticas tibias con asfalto Barrancabermeja 60-70 modificado con los productos I y II, se realizaron los siguientes ensayos de caracterización:

- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas (INV E-749-07).
- Resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas a esfuerzo controlado (EN 12697-24).

- Evaluación de la suceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta (INV E-725-07).
- Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio (INV E-756-07).

Estos ensayos fueron realizados a las mezclas asfálticas sometidas a dos estados de envejecimiento:

- Antes de compactar las mezclas asfálticas mencionadas, estas fueron sometidas a un proceso de envejecimiento a corto plazo, de acuerdo con la metodología STOA (por sus siglas en inglés de *Short Term Oven Aging*).
- Después de pasar por el envejecimiento a corto plazo (STOA), las mezclas fueron sometidas a un proceso de envejecimiento a largo plazo, de acuerdo con la metodología LTOA (por sus siglas en inglés de *Long Term Oven Aging*).

Adicional a los ensayos mencionados anteriormente, los ensayos que se mencionan a continuación se realizaron únicamente a las mezclas asfálticas que fueron sometidas a un proceso de envejecimiento a largo plazo de acuerdo con la metodología LTOA:

- Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos (INV E-732-07).
- Recuperación del asfalto de una solución utilizando el rotavapor (INV E-759-07).
- Medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (INV E-750-07).

4.2.1 Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas

El ensayo de tensión indirecta con cargas repetidas para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas, se lleva a cabo aplicando cargas de compresión con un dispositivo que le imprime forma de onda. La carga se aplica verticalmente en un plano diametral de un espécimen cilíndrico de concreto asfáltico. La deformación horizontal resultante del espécimen se mide, y esta medición, junto con una relación de Poisson asumida, se emplea para calcular un módulo resiliente (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007g).

Los valores del módulo resiliente se pueden emplear para evaluar la calidad relativa de los materiales, así como para generar datos de entrada para el diseño, la evaluación y el análisis de pavimentos. El ensayo se puede emplear para estudiar efectos de temperatura, rata de carga, períodos de reposo, etc. (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007g).

Los resultados de laboratorio se presentan en el numeral 5.4.1, y los reportes de laboratorio correspondientes a este ensayo para estas mezclas se encuentran en el ANEXO G al ANEXO I.

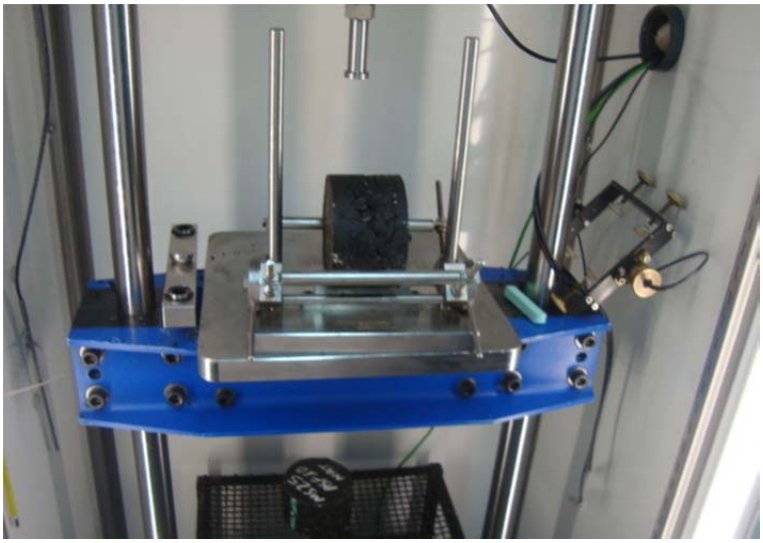


Figura 64. Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas

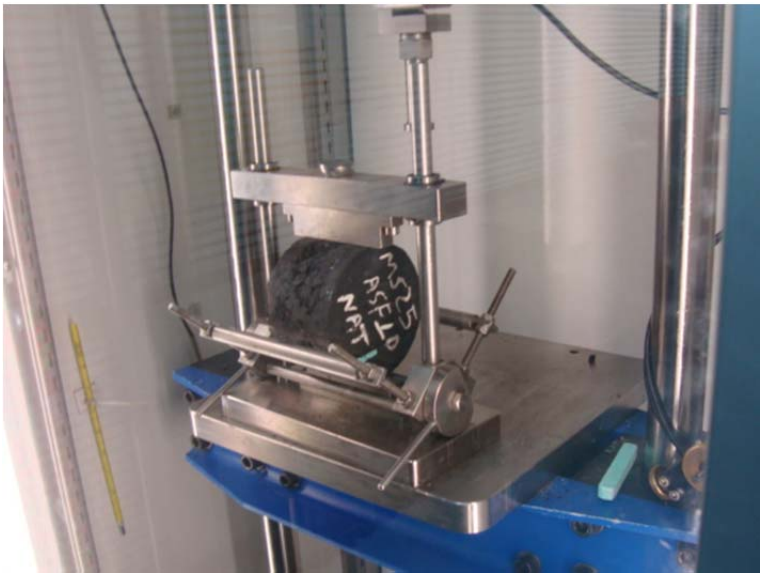


Figura 65. Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas

4.2.2 Resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas a esfuerzo controlado

Los materiales se pueden romper si se aplica, de manera repetitiva, un gran número de solicitaciones cuya amplitud sea menor a su resistencia a la ruptura instantánea. Este fenómeno es conocido como la fatiga y es muy importante en la evaluación de las propiedades mecánicas de distintos materiales. Se llama resistencia a la fatiga para N ciclos de carga, el valor de la solicitación para la cual la probeta soportaría N ciclos antes de romperse. El número de ciclos antes de la ruptura se llama duración de vida.

Para el caso específico de este estudio, los ensayos de resistencia a la fatiga se realizaron por medio de la teoría Inglesa a tracción indirecta gracias a la implementación del *Nottingham Asphalt Tester* (NAT) (Ver Figura 66). El NAT básicamente es un equipo diseñado para medir y obtener propiedades mecánicas de materiales asfálticos usados en pavimentación por medio de una rutina simple sometiendo un espécimen cilíndrico a cargas repetitivas de compresión con una señal de carga a través del plano vertical diametral hasta la falla.

Existen dos clases de ensayos de resistencia a la fatiga:

- Bajo deformación controlada: El ensayo puede ser efectuado ejerciendo en la cabeza de la probeta un esfuerzo o que se mantiene constante durante la totalidad de éste. En este caso y teniendo en cuenta el daño de la probeta, el desplazamiento de la cabeza de la probeta crece constantemente durante el ensayo.
- Bajo esfuerzo controlado: El ensayo de fatiga, efectuado manteniendo un nivel de deformación constante y controlando el esfuerzo aplicado, es menos disperso que el ensayo realizado con esfuerzo constante.

Para el caso específico de esta investigación, y de acuerdo con lo concertado en las reuniones con el Instituto durante la etapa de negociación de la consultoría, los ensayos de resistencia a la fatiga se realizaron bajo esfuerzo controlado.

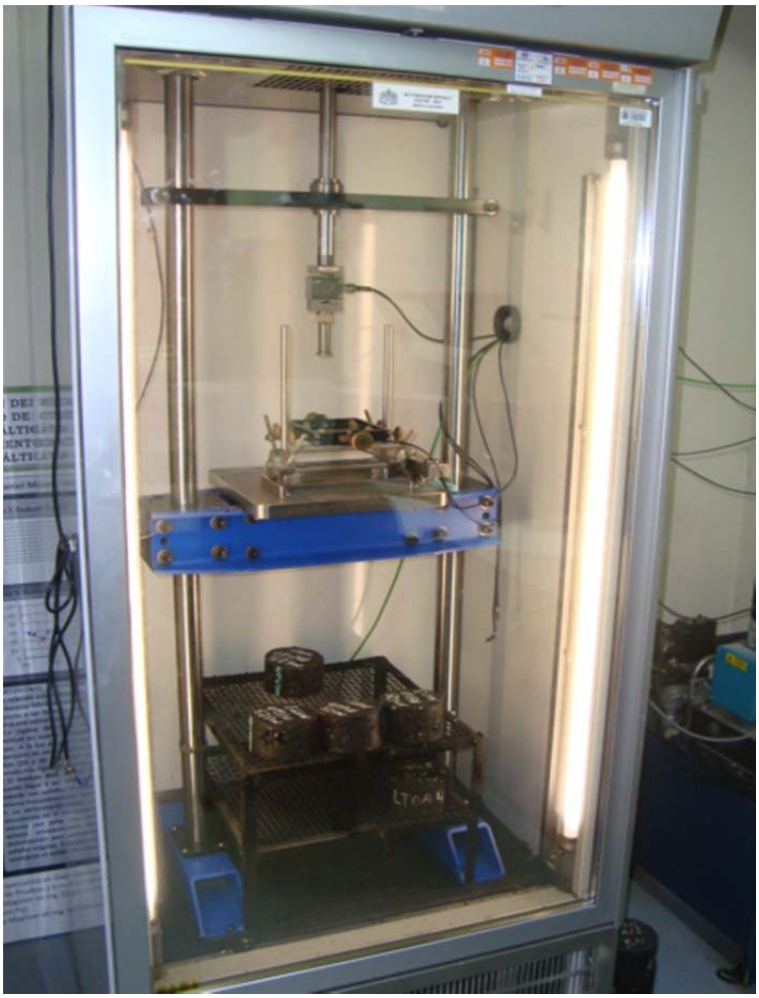


Figura 66. Nottingham Asphalt Tester (NAT)

En la Figura 67 y la Figura 68 se presenta el desarrollo del ensayo de resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas a esfuerzo controlado, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

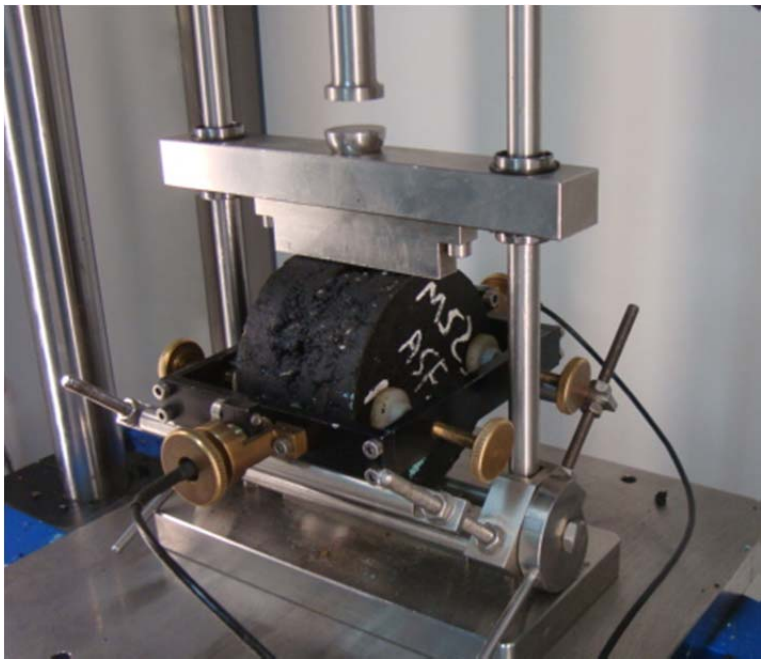


Figura 67. Ensayo de resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas a esfuerzo controlado

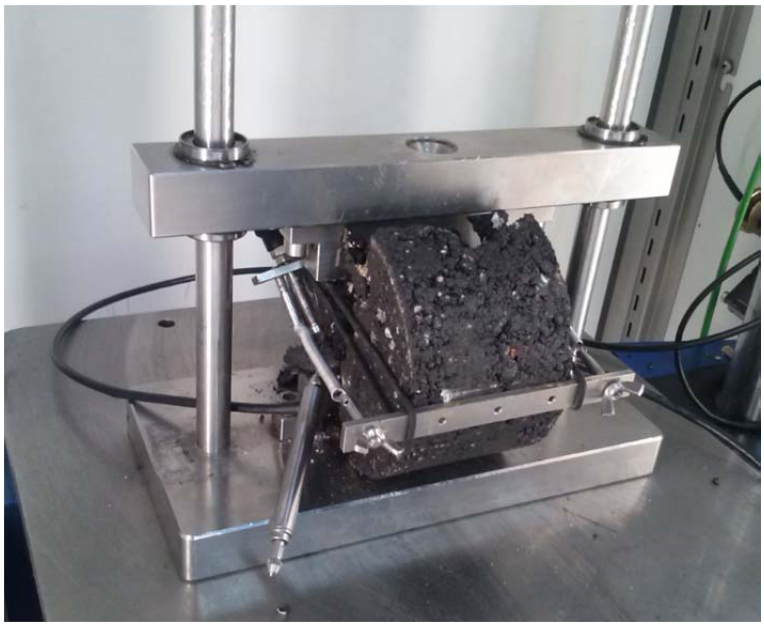


Figura 68. Ensayo de resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas a esfuerzo controlado

Los resultados de laboratorio se presentan en el numeral 5.4.2, y los reportes de laboratorio correspondientes a estos ensayos se encuentran en el ANEXO G al ANEXO I.

4.2.3 Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta – TSR

Este método de prueba establece los procedimientos para preparar y probar especímenes de concreto asfáltico con el propósito de medir el efecto del agua sobre la resistencia a la tracción indirecta. Este método de prueba se usa para evaluar el efecto de la humedad en las mezclas elaboradas con o sin aditivo adhesivo (antistripping), incluidos líquidos y sólidos pulverulentos, tales como cal hidratada o cemento Pórtland (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007k).

La susceptibilidad de daño por humedad se determina preparando un grupo de especímenes compactados en el laboratorio de acuerdo con la fórmula de trabajo de la mezcla. El grupo es dividido en dos subgrupos con contenidos de vacíos aproximadamente iguales; cada espécimen debe tener su par en el otro grupo. Un grupo es mantenido en seco mientras que el otro es parcialmente saturado con agua y acondicionado en un baño de agua. La resistencia a la tracción de cada uno de los subgrupos se determina por la prueba de tracción indirecta. El potencial de daño por humedad es indicado por la relación entre la resistencia a la tensión del subgrupo húmedo y la del subgrupo seco (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007k).

En la Figura 69 y la Figura 70 se presenta el desarrollo del ensayo de evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta – TSR, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 69. Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta – TSR

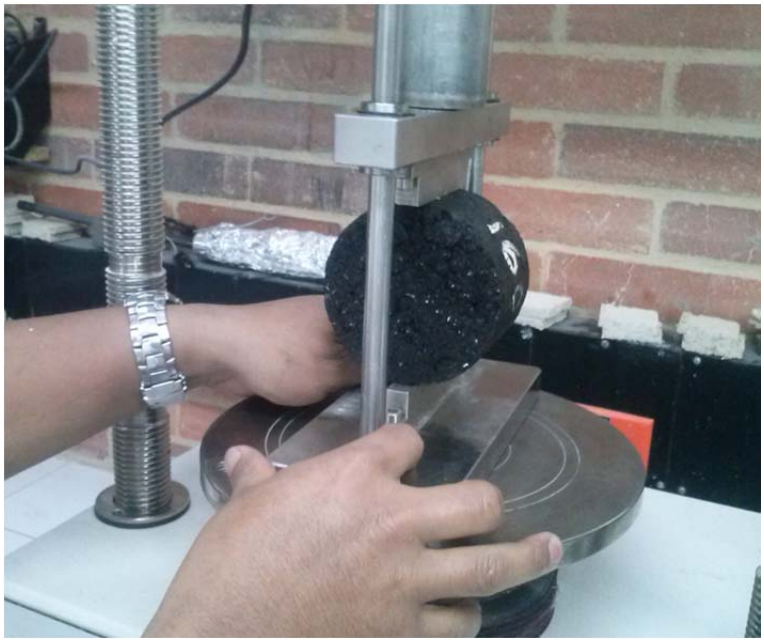


Figura 70. Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta – TSR

Los resultados de laboratorio se presentan en el numeral 5.3, y los reportes de laboratorio correspondientes a este ensayo para estas mezclas se encuentran en el ANEXO G al ANEXO I.

4.2.4 Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio

Este ensayo consiste en someter una probeta de la mezcla asfáltica al paso alternativo de una rueda en condiciones determinadas de presión y temperatura, midiéndose periódicamente la profundidad de la deformación producida (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007x).

Para capas de rodadura e intermedia en vías de tránsito T4 y T5 y mezclas de alto módulo, la mezcla definida como óptima al efectuar el diseño Marshall deberá ser verificada con la medida de su resistencia a la deformación plástica mediante la pista de ensayo de laboratorio, según la norma de ensayo INV E-756 (2007x). La velocidad de deformación en el intervalo comprendido entre ciento cinco (105) y ciento veinte (120) minutos no podrá ser mayor de 15 µm/minuto para mezclas que se vayan a emplear en pavimentos sometidos a un tránsito equivalente a la clase T5, ni mayor de 20 µm/minuto para mezclas que vayan a servir tránsitos T4. Si este requisito no se cumple, se deberán

efectuar los ajustes necesarios en el diseño de la mezcla. Para tránsitos del nivel T0 y T3 no se requerirá la ejecución de esta prueba (Instituto de desarrollo urbano IDU, 2011b).

En la Figura 71 y la Figura 72 se presenta el desarrollo del ensayo resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 71. Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio

Figura 72. Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio

Los resultados de laboratorio se presentan en el numeral 5.3, y los reportes de laboratorio correspondientes a este ensayo para estas mezclas se encuentran en el ANEXO G al ANEXO I.

4.2.5 Extracción, recuperación y evaluación del asfalto extraído

La extracción cuantitativa de asfaltos en mezclas en caliente para pavimentos consiste en la obtención del ligante de la mezcla mediante el uso de tricloroetileno, bromuro de n-propilo o cloruro de metileno, empleando el equipo de extracción aplicable al método particular. El contenido de asfalto se calcula por diferencias a partir de las masas del agregado extraído, del contenido de humedad, y del material mineral en el extracto. El contenido de asfalto se expresa como porcentaje en masa de las mezclas libres de humedad (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007l).

La recuperación del asfalto de una solución, consiste en la recuperación del asfalto de un solvente usando un rotavapor, que garantiza la minimización de los cambios en las propiedades del asfalto durante el proceso de recuperación. Este proceso permite comparar las propiedades del ligante asfáltico antes y después del proceso de mezcla (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007w).

Para la evaluación del asfalto extraido, se realizó la medición de propiedades reológicas mediante el reómetro de corte dinámico: Este método cubre la determinación del módulo de corte dinámico y el ángulo de fase de un ligante asfáltico cuando es ensayado al corte dinámico (oscilatorio), utilizando una geometría de prueba de platos paralelos. El módulo complejo de corte es un indicador de la rigidez o resistencia del ligante asfáltico a la deformación bajo carga. El módulo complejo de corte y el ángulo de fase definen la resistencia a la deformación de corte de un ligante asfáltico en la región lineal viscoelástica y se usan para determinar criterios relacionados con el desempeño, de acuerdo con las especificaciones Superpave (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007q).

En la Figura 73 a la Figura 76 se presenta el desarrollo del ensayo de extracción cuantitativa de asfaltos, la recuperación de dicho asfalto y la medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el Reómetro de Corte Dinámico, respectivamente, por parte de los técnicos del laboratorio de la PUJ.

Figura 73. Ensayo de extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos

Figura 74. Ensayo de extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos

Figura 75. Ensayo para la recuperación del asfalto de una solución utilizando el rotavapor

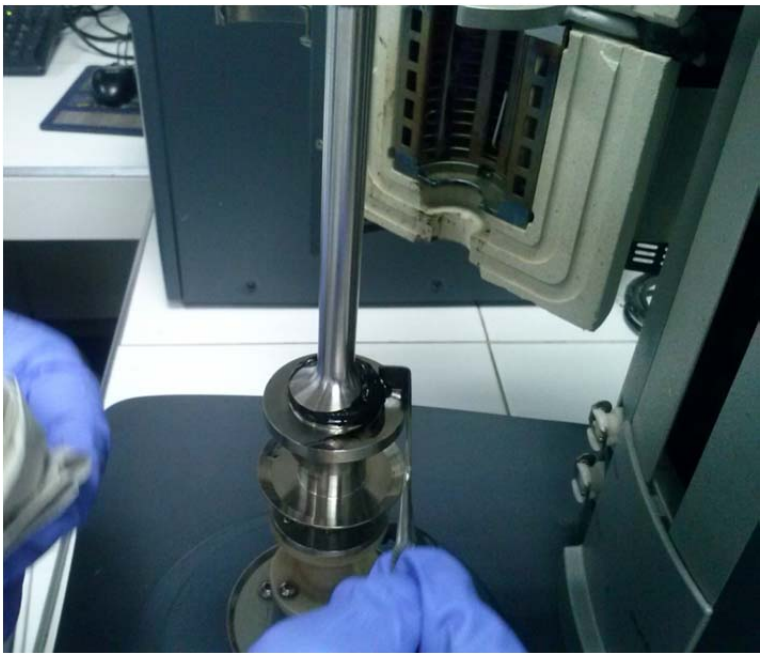


Figura 76. Ensayo para la medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico

En la Tabla 19 se presentan, a manera de resumen, los resultados de los ensayos de extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos realizados a las mezclas mencionadas en el numeral 4.2. Los reportes de laboratorio correspondientes a estos ensayos se encuentran en el ANEXO G al ANEXO I.

Tabla 19. Resultados del ensayo de extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos

Mezcla	Norma de ensayo	Unidad	Contenido óptimo de asfalto de diseño	Resultado del ensayo
Mezcla MD12 - Asfalto Barrancabermeja 60-70 Envejecida en STOA + LTOA	INV E - 732	%	5,40	5,39 ± 0,06
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto I Envejecida en STOA + LTOA	INV E - 732	%	-	-
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto II Envejecida en STOA + LTOA	INV E - 732	%	-	-

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Análisis de resultados y recomendaciones de la caracterización de agregados pétreos

En la Tabla 20 se presentan los ensayos de caracterización ejecutados sobre los agregados pétreos del tamaño de las gravas, y en la Tabla 21 los resultados de caracterización a la combinación de agregados correspondientes a la fracción de agregados gruesos (gravas) de una mezcla MD12. De igual forma, en la Tabla 22 se presentan los ensayos de caracterización ejecutados sobre los agregados pétreos del tamaño de las arenas y los finos, y en la Tabla 23 los resultados de caracterización a la combinación de agregados correspondientes a la fracción de agregados finos (arenas y finos) de una mezcla MD12.

Se observa en los resultados de los ensayos, que el agregado pétreo analizado puede ser utilizado para la fabricación de mezclas de concreto asfáltico a ser utilizadas para capas de base asfáltica e intermedia, para cualquier nivel de tráfico (T0-T5), y para capas de rodadura con tráfico T0-T3, de acuerdo a las especificaciones técnicas IDU-ET-2011 (2011b).

Con base en los resultados de desgaste en la máquina de Los Ángeles, Micro-Deval y 10% de finos se reporta, que el agregado pétreo grueso empleado para la fabricación de las mezclas asfálticas del presente estudio es de buena resistencia al desgaste por impacto y por abrasión, así como al fracturamiento de partículas. Así mismo se observa, que dicho agregado pétreo es de alta resistencia a desintegrarse cuando dentro de sus poros, el agua expande por congelamiento (ensayo de sanidad en sulfato de sodio) y presenta partículas con formas ideales (redondeadas con caras angulares y fracturadas con muy poco contenido de partículas alargadas y aplanadas) para desarrollar un buen esqueleto granular que ayude en procesos de compactación de mezclas asfálticas, así como a resistir cargas estáticas, dinámicas o de impacto. Adicionalmente se observa que las partículas finas no presentan contenido de arcilla, materia orgánica en exceso o de polvo que generen disminución de adherencia entre el agregado pétreo y el asfalto, y disminución de resistencia y durabilidad de la mezcla por exceso de finos o contaminantes.

Tabla 20. Caracterización de agregados pétreos (gravas)

Ensayo	Norma de ensayo	Unidad	Valor Admisibles de acuerdo a las Especificaciones IDU		Resultados del Ensayo		
			Mínimo	Máximo	P024-2 y P025-2 Grava 1"	P024-3 y P025-3 Grava 3/4"	P024-4 y P025-4 Grava 1/2"
Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles	INV E-218	%	-	30	27 ± 0,24	28 ± 0,25	27 ± 0,24
Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10 % de Finos	INV E-224	kN	75	-	185 ± 23	143 ± 19	162 ± 20
Determinación de la resistencia al desgaste utilizando el equipo Micro-Deval	INV E-238	%	-	25	11,90 ± 0,65	12,50 ± 0,68	12,9 ± 0,71
Gravedad específica bulk	INV E-223	g/cm^3	-	-	2,51 ± 0,01	2,53 ± 0,01	2,47 ± 0,01
Gravedad específica aparente	INV E-223	g/cm^3	-	-	2,62 ± 0,01	2,66 ± 0,01	2,66 ± 0,01
Absorción de los agregados gruesos	INV E-223	%	-	-	1,70 ± 0,21	1,90 ± 0,24	2,90 ± 0,36

Tabla 21. Caracterización de agregados pétreos (gravas), correspondientes a la gradación de una mezcla MD12

Ensayo	Norma de ensayo	Unidad	Valor Admisibles de acuerdo a las Especificaciones IDU		Resultados del Ensayo
			Mínimo	Máximo	
Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio	INV E-220	%	-	18	0 ± 0,005
Porcentaje de caras fracturadas en los agregados	INV E-227	%	90	-	97 ± 2,42
Método para determinar partículas planas, alargadas, o planas y alargadas	INV E-240	%	-	10%	0.8 ± 0.39 %
Gravedad específica bulk	INV E-223	g/cm^3	-	-	2,58 ± 0,02
Gravedad específica aparente	INV E-223	g/cm^3	-	-	2,66
Absorción de los agregados finos	INV E-223	%	-	-	1,13 ± 0,01

Tabla 22. Caracterización agregados pétreos tamaño de arenas y finos

Ensayo	Norma de ensayo	Unidad	Valor Admisibles de acuerdo a las Especificaciones IDU		Resultados del Ensayo		
			Mínimo	Máximo	P024-5 y P025-5 Arena Triturada	P024-6 y P025-6 Arena natural	P024-7 y P025-7 Arena de peña
Límite líquido de los suelos	INV E-125	%	-	-	NL	NL	NL
Límite plástico e índice de plasticidad	INV E-126	%	NP		NP	NP	NP
Equivalente de arena	INV E-133	%	40	-	-	77,00 ± 3,88	23,00 ± 1,16
Gravedad específica bulk	INV E-222	g/cm^3	-	-	2,52 ± 0,02	2,50 ± 0,02	2,48 ± 0,02
Gravedad específica aparente	INV E-222	g/cm^3	-	-	2,639	2,61	2,58
Absorción de los agregados finos	INV E-222	%	-	-	1,81 ± 0,02	1,68 ± 0,02	1,62 ± 0,02

Tabla 23. Caracterización agregados pétreos tamaño de arenas y finos, correspondientes a la gradación de una mezcla MD12

Ensayo	Norma de ensayo	Unidad	Valor Admisibles de acuerdo a las Especificaciones IDU		Resultados del Ensayo
			Mínimo	Máximo	
Equivalente de arena	INV E-133	%	40	-	81,00 ± 4,08
Determinación del contenido aproximado de materia orgánica	INV E-212	Categoría	-	3	1
Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio	INV E-220	%	-	18	1 ± 0,23
Valor de azul de metileno en agregados finos y en llenante mineral	INV E-235	mg/g	-	8	5
Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados	INV E-239	%	45	-	47,20 ± 0,20

5.2 Análisis de resultados y recomendaciones de la caracterización de los ligantes asfálticos

En la Tabla 24 a la Tabla 27 se presentan los resultados de los ensayos de caracterización típicos que se ejecutaron sobre el cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de la refinería de la Empresa Colombiana de Petróleos – ECOPETROL, en Barrancabermeja, y de los dos CA modificados con el producto I y producto II. Se observa que el asfalto CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja cumple con los requisitos mínimos de calidad que exigen las especificaciones técnicas IDU-ET-2011 (2011a) para ser empleado como ligante en la fabricación de mezclas de concreto asfáltico. Es interesante observar en la tabla 8 que el asfalto modificado tipo I experimenta mayor viscosidad y tendencia a ser más rígido que el asfalto convencional a pesar que su penetración es ligeramente superior. Lo anterior es debido principalmente a que con el aumento de la temperatura la tasa de disminución de la viscosidad es menor en este asfalto modificado. Los asfaltos modificados presentan propiedades físicas y de caracterización que los hacen ser más rígidos y viscosos a altas temperaturas en comparación con el convencional. Así por ejemplo, la temperatura a la cual tienden a pasar de un estado semisólido a líquido (punto de ablandamiento) de los asfaltos modificados es superior al del convencional.

Tabla 24. Caracterización del CA 60-70 de Barrancabermeja

Ensayo	Norma de ensayo	Unidad	Valor Admisible		Resultado del ensayo
			Mínimo	Máximo	
Penetración	INV E-706	0,1 mm	60	70	68,50 ± 0,50
Índice de penetración	-	-	-1,0	1,0	-0,10
Ductilidad	INV E-702	cm	100	-	100,0 ± 0,00
Gravedad específica	INV E-707	g/cm³	-	-	1,01
Punto de ablandamiento	INV E-712	° C	45	55	51,30 ± 0,74
Viscosidad (60° C)	INV E-717	Pa-s	150	300	189,00
Viscosidad (135° C)	INV E-717	Pa-s	0,22	0,45	0,34
Adherencia en bandeja	INV. E-740	%	-	-	4,50
Ensayos sobre el residuo después de RTFOT					
% pérdida de masa en RTFOT	INV E-720	%	-	1,0	0,21 ± 0,01
Penetración de los materiales asfálticos al residuo con RTFO	INV E-706	%	54	-	71,50
Punto de ablandamiento a la muestra envejecida con RTFO	INV E-712	° C	-	9	55,30 ± 0,80

Tabla 25. Caracterización del CA modificado con el producto I

Ensayo	Norma de ensayo	Unidad	Resultado del ensayo
Penetración	INV E-706	0,1 mm	79,00 ± 0,57
Ductilidad	INV E-702	cm	118,67 ± 0,00
Gravedad específica	INV E-707	g/cm³	1,01
Punto de ablandamiento	INV E-712	° C	73,40 ± 1,07
Viscosidad (135° C)	INV E-717	Pa-s	1,42
Adherencia en bandeja	INV. E-740	%	2,56
Ensayos sobre el residuo después de RTFOT			
Pérdida de masa en RTFOT	INV E-720	%	0,54 ± 0,03
Penetración de los materiales asfálticos al residuo con RTFO	INV E-706	%	73,50 ± 0,54
Punto de ablandamiento a la muestra envejecida con RTFO	INV E-712	° C	83,60 ± 1,21

Tabla 26. Caracterización del CA modificado con el producto II

Ensayo	Norma de ensayo	Unidad	Resultado del ensayo
Penetración	INV E-706	0,1 mm	60,50 ± 0,44
Ductilidad	INV E-702	cm	94,00 ± 0,00
Gravedad específica	INV E-707	g/cm³	1,01
Punto de ablandamiento	INV E-712	° C	62,80 ± 0,91
Viscosidad (135° C)	INV E-717	Pa-s	0,76
Adherencia en bandeja	INV. E-740	%	4,54
Ensayos sobre el residuo después de RTFOT			
Pérdida de masa en RTFOT	INV E-720	%	-
Penetración de los materiales asfálticos al residuo con RTFO	INV E-706	%	69,42
Punto de ablandamiento a la muestra envejecida con RTFO	INV E-712	° C	79,40 ± 1,15

Tabla 27. Comparación de los resultados de caracterización del CA 60-70 de Barrancabermeja y los modificados tipo I y II

Ensayo	Norma de ensayo	Unidad	Resultado del ensayo		
			CA 60-70	Tipo I	Tipo II
Penetración	INV E-706	0,1 mm	68,50 ± 0,50	73,50 ± 0,57	60,50 ± 0,44
Ductilidad	INV E-702	cm	100,0 ± 0,00	118,67 ± 0,00	94,00 ± 0,00
Gravedad específica	INV E-707	g/cm³	1,01	1,01	1,01
Punto de ablandamiento	INV E-712	° C	51,30 ± 0,74	73,40 ± 1,07	62,80 ± 0,91
Viscosidad (135° C)	INV E-717	Pa-s	0,34	1,42	0,76
Adherencia en bandeja	INV. E-740	%	4,50	2,56	4,54
% pérdida de masa en RTFOT	INV E-720	%	0,21 ± 0,01	0,54 ± 0,03	-
Penetración de los materiales asfálticos al residuo con RTFO	INV E-706	%	71,50	65,18	69,42
Punto de ablandamiento a la muestra envejecida con RTFO	INV E-712	° C	55,30 ± 0,80	83,60 ± 1,21	79,40 ± 1,15

En la Tabla 28 a la Tabla 30 se presentan los resultados de los ensayos de caracterización reológica que se ejecutaron sobre el cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja, y de los dos CA modificados con los productos I y II respectivamente. De acuerdo con la Tabla 28, el grado de desempeño a altas e intermedias temperaturas de servicio del CA 60-70 de Barrancabermeja es 58° C y 22° C. Los asfaltos modificados presentan mayor rigidez que el CA 60-70 convencional (sin modificar) (Tabla 28 a Tabla 30). Se observa que el asfalto más rígido (con mayor magnitud de módulo de corte G^* y relación $|G^*|/\sin\delta$) antes de ser sometido a procesos de envejecimiento, es el modificado con el producto II. Adicionalmente se observa que, cuando el CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja envejece a largo plazo (RTFOT + PAV), experimenta una mayor rigidez que los asfaltos modificados. Lo anterior induce a pensar que, en los procesos de fabricación de mezclas de concreto asfáltico en plantas de asfalto, extensión y compactación en obra, así como durante la vida útil en servicio, las mezclas fabricadas con el asfalto CA 60-70 de Barrancabermeja, experimentarán un incremento en rigidez mayor debido a que este ligante es más susceptible al fenómeno de envejecimiento u oxidación que los modificados. Así mismo, se observa que el asfalto modificado tipo I experimenta mayor resistencia a cambiar sus propiedades reológicas y a envejecer en comparación con los otros dos ligantes analizados. El grado de desempeño a altas temperaturas de servicio de los asfaltos modificados con los productos I y II fue 70° C (ver Tabla 29 y Tabla 30). A temperaturas intermedias de servicio, los productos I y II experimentaron un grado de desempeño de 13° C y 19° C, respectivamente. En síntesis, los asfaltos modificados tipo I y II presentan mejor grado de desempeño que el CA 60-70 de Barrancabermeja, lo que se traduce en mayor resistencia a las

deformaciones permanentes en climas de alta temperatura, mayor resistencia al envejecimiento a largo plazo y al agrietamiento en temperaturas intermedias.

Tabla 28. Caracterización reológica del CA 60-70 de Barrancabermeja

Temperatura	Frecuencia	δ	G^*	$\lvert G^*\rvert/seno\delta$	$\lvert G^*\rvert \cdot seno\delta$	Viscosidad
[°C]	[rad/s]	[°]	[Pa]	[kPa]	[kPa]	[Pa·s]
CA 60-70 de Barrancabermeja sin envejecer						
58	**10**	**87**	**2320,3**	**2,32**	**2,32**	**231,65**
64	10	88	1006,0	1,01	1,01	100,53
70	10	89	471,0	0,47	0,47	47,10
CA 60-70 de Barrancabermeja envejecido en RTFOT						
52	10	82	10670,0	10,77	10,57	1057,10
58	**10**	**84**	**4148,0**	**4,17**	**4,13**	**412,79**
64	10	86	1528,0	1,53	1,52	152,45
CA 60-70 de Barrancabermeja envejecido en RTFOT + PAV						
16	10	42	14689000,0	22129,0	9748,2	974820,0
19	10	44	10322000,0	14851,0	7175,7	717570,0
22	**10**	**48**	**6668500,0**	**8978,0**	**4953,2**	**495320,0**

Tabla 29. Caracterización reológica del CA modificado con el producto I

Temperatura	Frecuencia	δ	G^*	$\lvert G^*\rvert/seno\delta$	$\lvert G^*\rvert \cdot seno\delta$	Viscosidad
[° C]	[rad/s]	[°]	[Pa]	[kPa]	[kPa]	[Pa·s]
CA modificado con producto I sin envejecer						
64	10	67	2478,1	2,69	2,28	227,94
70	**10**	**68**	**1384,0**	**1,50**	**1,28**	**127,99**
76	10	66	817,0	0,89	0,75	74,84
CA modificado con producto I envejecido en RTFOT						
64	10	64	4284,0	4,76	3,86	385,77
70	**10**	**67**	**2349,0**	**2,56**	**2,16**	**215,57**
76	10	68	1335,0	1,44	1,24	124,10
CA modificado con producto I envejecido en RTFOT + PAV						
10	10	40	12048000,0	18734,0	7747,2	774720,0
13	**10**	**44**	**6918300,0**	**10047,5**	**4763,5**	**476350,0**
16	10	45	4946900,0	7042,4	3474,8	347480,0

Tabla 30. Caracterización reológica del CA modificado con el producto II

Temperatura	Frecuencia	δ	G^*	$\lvert G^*\rvert/seno\delta$	$\lvert G^*\rvert \cdot seno\delta$	Viscosidad
[° C]	[rad/s]	[°]	[Pa]	[kPa]	[kPa]	[Pa·s]
CA modificado con producto II sin envejecer						
70	**10**	**61**	**2200,8**	**2,52**	**1,93**	**192,57**
76	10	60	1276,0	1,47	1,11	110,77
82	10	59	762,0	0,89	0,65	65,00
CA modificado con producto II envejecido en RTFOT						
70	**10**	**69**	**3626,0**	**3,89**	**3,38**	**338,08**
76	10	73	1919,0	2,01	1,83	183,27
82	10	76	1015,0	1,05	0,99	98,51
CA modificado con producto II envejecido en RTFOT + PAV						
13	10	35	13577000,0	23489,0	7846,0	784600,0
16	10	37	10155000,0	16849,0	6122,3	612230,0
19	**10**	**39**	**7330900,0**	**11588,0**	**4637,3**	**463730,0**

Respecto al asfalto convencional CA 60-70, los asfaltos modificados incrementaron su máxima temperatura de servicio, siendo éstos los que presentan mayor resistencia a las deformaciones plásticas. Adicionalmente, los asfaltos modificados aumentaron, en comparación con el convencional, la resistencia al agrietamiento a temperaturas intermedias de servicio. En la Figura 77 a Figura 79 se presentan las curvas de evolución de la viscosidad con la temperatura del cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y de los dos CA asfaltos modificados con los productos I y II respectivamente. En la Figura 80 se presentan las curvas de evolución de la viscosidad con la temperatura para los tres asfaltos caracterizados en donde se observa, en concordancia con los resultados de caracterización reológica, que los asfaltos más viscosos son los modificados.

Con base en la Figura 77, la temperatura aproximada de compactación y de mezcla en el laboratorio del CA 60-70 de Barrancabermeja es de 140° C y 150° C respectivamente. Estos valores fueron obtenidos con base en el criterio establecido por la especificación ASTM D6925, en donde la viscosidad requerida para obtener las temperaturas de fabricación y de compactación de mezclas asfálticas en caliente del tipo denso son de 85±15 SSF (170 cP) y 140±15 SSF (280 cP) respectivamente. Para los asfaltos modificados (Figura 78 y Figura 79), empleando el criterio establecido de la especificación ASTM D6925, las temperaturas de compactación y de mezcla serían de 177° y 191° C

para el CA modificado con el producto I y de 164° C y 176° C para el modificado con el producto II. Estos valores fueron cambiados por 120° C y 130° C, teniendo en cuenta:

- Que es de amplio reconocimiento en el mundo, que el criterio establecido por la especificación ASTM D6925 para el caso de asfaltos modificados no es confiable, debido principalmente a que el comportamiento de estos materiales es fuertemente dependiente de la velocidad de corte (fluido no newtoniano), y las temperaturas reportadas por este método son, por lo general, muy altas y no realistas, degradando las propiedades originales del ligante al oxidarlo y envejecerlo.
- De acuerdo con Rubio *et al.* (2012) y Capitão *et al.* (2012), la temperatura de fabricación de mezclas tibias oscila entre 100° C y 140° C.
- Al fabricar y compactar las mezclas a dichas temperaturas, el material experimentó el comportamiento que se presenta en la Figura 85 a la Figura 93 (capítulo D.3 del presente documento), cumpliendo los criterios establecidos por la metodología Marshall y la especificación IDU (2011b) para diseñar mezclas asfálticas tipo MD12.

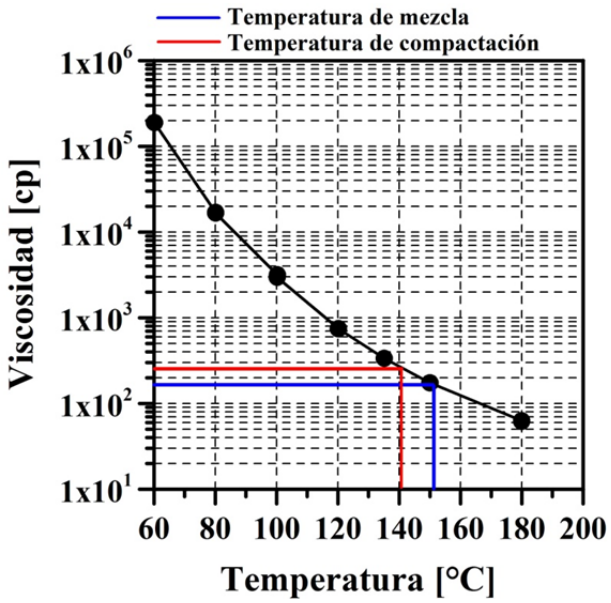


Figura 77. Curva de viscosidad CA 60-70 de Barrancabermeja

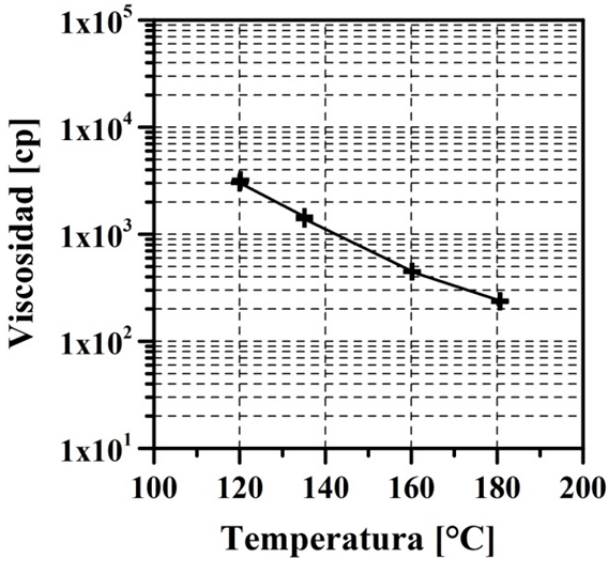


Figura 78. Curva de viscosidad CA modificado con el producto I

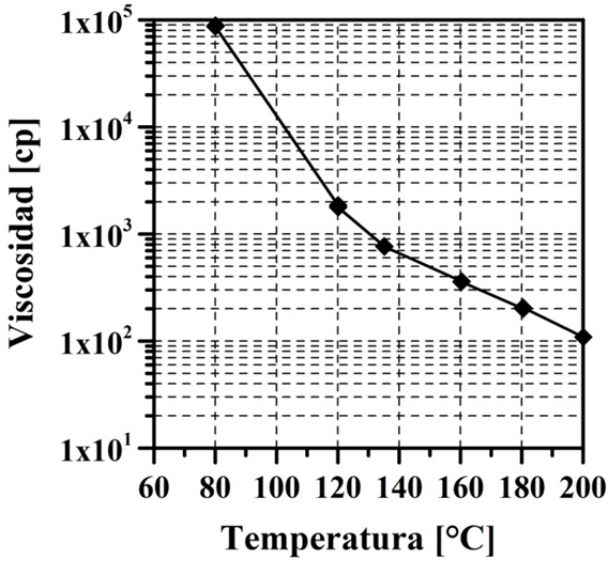


Figura 79. Curva de viscosidad CA modificado con el producto II

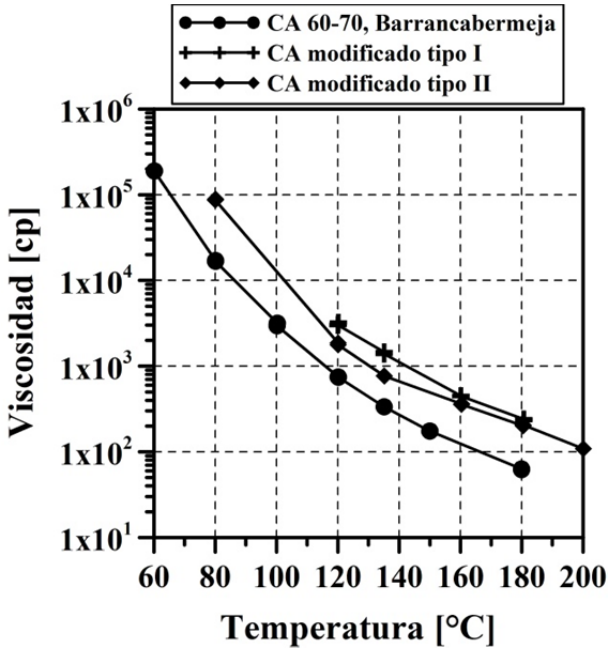


Figura 80. Curva de viscosidad de los asfaltos analizados

5.3 Análisis de resultados y recomendaciones de los diseños de mezcla

En la Tabla 31 se presenta, de manera resumida, el porcentaje óptimo de asfalto obtenido del diseño de las mezclas MD12 fabricadas con CA 60-70 de Barrancabermeja y CA modificados con los productos I y II, junto con los resultados del ensayo Marshall. El diseño de las mezclas se obtuvo con base en los criterios establecidos en las Especificaciones Técnicas IDU-ET-2011 (2011b). Adicionalmente se tuvo como criterios los siguientes:

- La resistencia a tracción de la mezcla en curado húmedo (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007k) debe ser al menos 80% de la alcanzada bajo condición seca (Especificaciones Técnicas IDU-ET-2011). La relación TSR en porcentaje (resistencia a tracción seco/húmedo) que experimentaron las mezclas puede ser consultada en la Tabla 32 y en la Figura 81 y Figura 82.

- Para capas de rodadura e intermedia en vías con bajos volúmenes de tránsito, la velocidad de deformación en el ensayo de resistencia a la deformación plástica mediante la pista de laboratorio (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007x) no podrá ser mayor de 15 $\mu m/min$ para mezclas que se vayan a emplear en pavimentos sometidos a un tránsito equivalente T5, ni mayor de 20 $\mu m/min$ para mezclas que

vaya a servir tránsitos T4 (Especificaciones Técnicas IDU-ET-2011). La velocidad de deformación permanente que experimentaron las mezclas se presenta en la Tabla 33.

- Los resultados del ensayo Marshall ejecutado sobre la mezcla MD12 fabricada con los ligantes asfálticos modificados con los productos I y II, presentados en la Figura 85 a la Figura 93.

Tabla 31. Diseño mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 de Barrancabermeja

Característica	Unidad	Especificación	Diseño
Contenido óptimo de asfalto	%	-	5,40
Estabilidad	kg	≥ 900	1640,00
Densidad	kg/m^3	-	2334,00
Flujo	mm	2,0-3,5	3,6
Relación estabilidad / flujo	kg/mm	300-600	455,60
Vacíos con aire	%	4,0-6,0	4.00
Vacíos llenos de asfalto	%	65-75	73.0
Vacíos en agregado mineral	%	≥ 15	14.3

El incumplimiento en flujo para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja (valor de 3,6 mm reportado en la Tabla 31), por encima 1/10 mm de lo especificado por el Instituto para este tipo de mezcla (3,5 mm), y a pesar de los buenos agregados utilizados provenientes del río Coello (con desgaste en la máquina de las Ángeles de 27%), siendo éste un material duro dentro de las normalmente disponibles en la región, no se considera de mayor aprecio al momento de evaluar el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica, ya que es de mayor relevancia la relación estabilidad/flujo para el control de la fisuración de la mezcla asfáltica en uso, teniéndose para esta mezcla un valor de 455,6 kg/mm (el valor especificado por el Instituto debe estar entre 300 y 600 kg/mm). Por otro lado, y con el fin de controlar la evolución del ahuellamiento bajo cargas pesadas, se debe considerar la velocidad de deformación permanente (ahuellamiento) en el intervalo entre 105 y 120 minutos, el cual para esta mezcla, arrojó un valor de 5,7 $\mu m/mm$ (Tabla 33), siendo inferior al valor máximo especificado por el Instituto (15 $\mu m/mm$).

Tabla 32. Resumen de resultados de la evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta – TSR

Mezcla	Norma de ensayo	Unidad	Valor Admisibles de acuerdo a las Especificaciones IDU		Condición de los especímenes		Resultado del Ensayo (S_2/S_1) [%]
			Mínimo	Máximo	Grupo Seco S_1 [kPa]	Grupo Húmedo S_2 [kPa]	
Mezcla MD12 - Asfalto Barrancabermeja 60-70 Envejecida en STOA	INV E - 725	% (S2/S1)	80	-	1172,5	976,0	83,2%
Mezcla MD12 - Asfalto Barrancabermeja 60-70 Envejecida en STOA + LTOA	INV E - 725	% (S2/S1)	80	-	1173,8	981,9	83,7%
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto I Envejecida en STOA	INV E - 725	% (S2/S1)	80	-	1081,8	951,7	88,0%
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto I Envejecida en STOA + LTOA	INV E - 725	% (S2/S1)	80	-	1192,5	1108,4	92,9%
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto II Envejecida en STOA	INV E - 725	% (S2/S1)	80	-	1165,8	1048,7	90,0%
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto II Envejecida en STOA + LTOA	INV E - 725	% (S2/S1)	80	-	1288,0	1198,5	93,1%

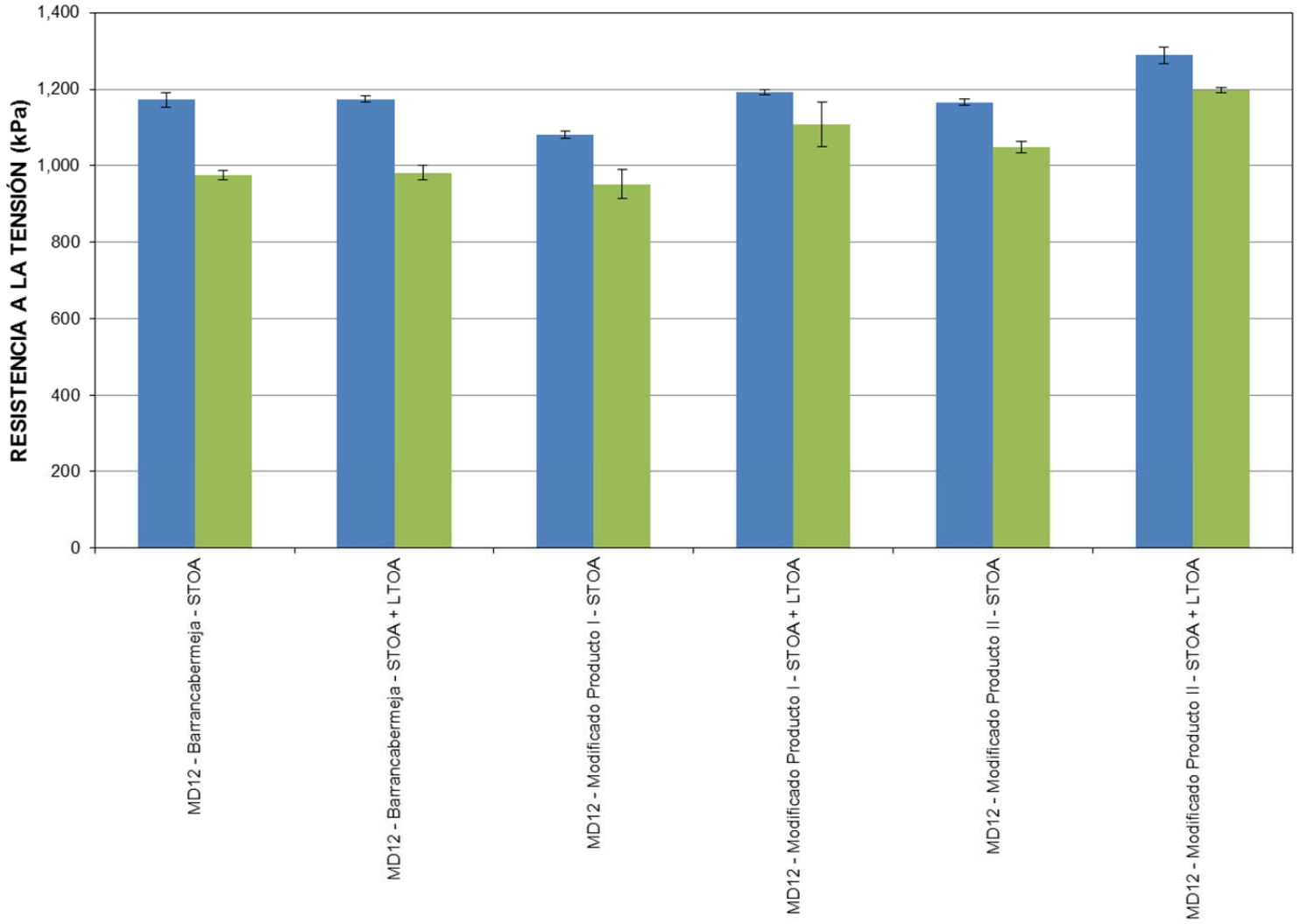


Figura 81. Resistencia a la tensión seca (azul) y húmeda (verde) de las mezclas asfálticas

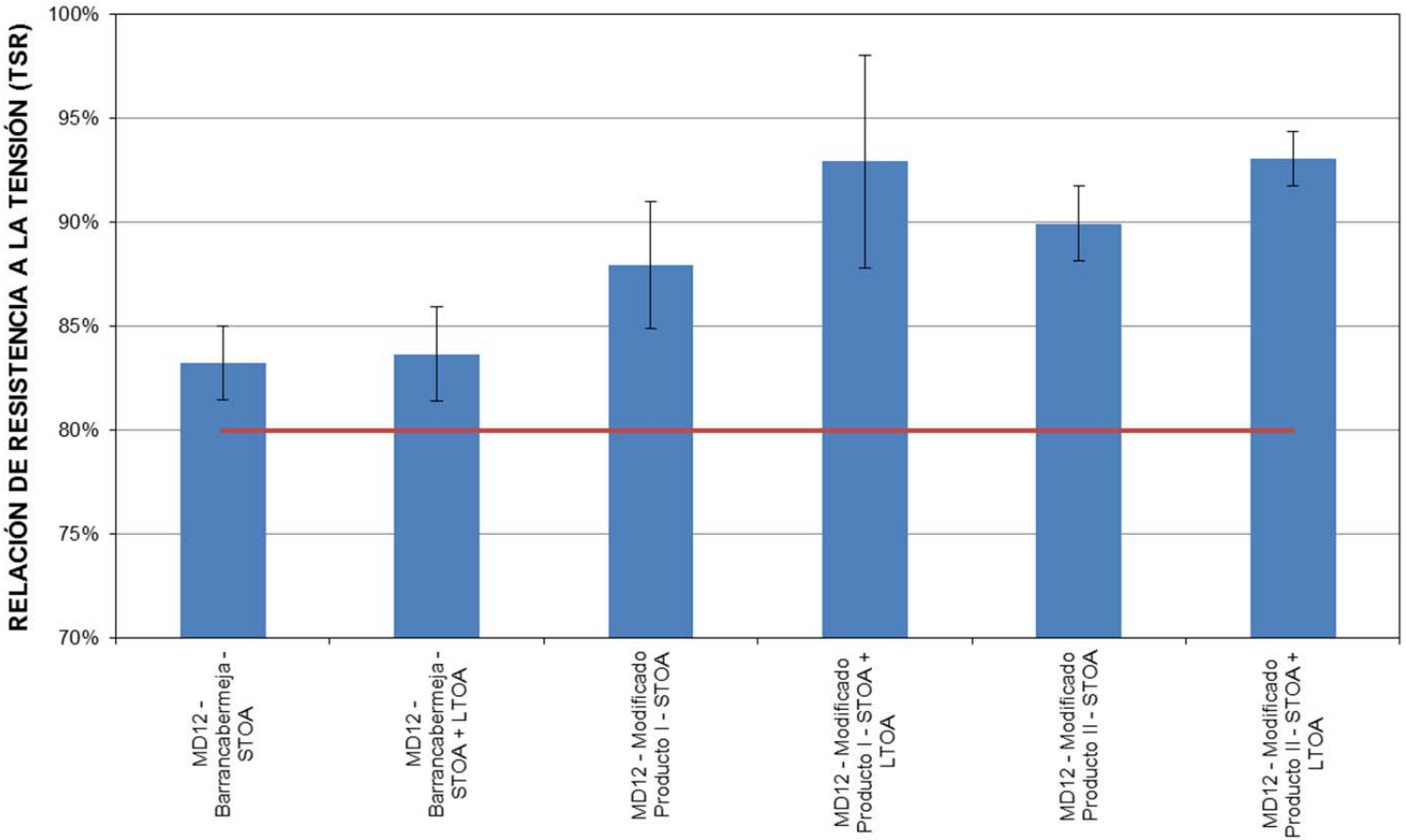


Figura 82. Relación de resistencia a la tensión (TSR) de las mezclas asfálticas

Tabla 33. Resistencia a la deformación permanente en el intervalo de 105 a 120 minutos

Mezcla	Norma de ensayo	Unidad	Valor Admisibles de acuerdo a las Especificaciones IDU		Resultado del Ensayo Velocidad en el intervalo de 105 a 120 minutos	Deformación total al final del ensayo
			Mínimo	Máximo		µm
Mezcla MD12 - Asfalto Barrancabermeja 60-70 Envejecida en STOA	INV E - 756	µm/m	-	15	5,7	2408.9
Mezcla MD12 - Asfalto Barrancabermeja 60-70 Envejecida en STOA + LTOA	INV E - 756	µm/m	-	15	5,3	2500.0
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto I Envejecida en STOA	INV E - 756	µm/m	-	15	3,3	2331.1
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto I Envejecida en STOA + LTOA	INV E - 756	µm/m	-	15	2,7	2602.2
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto II Envejecida en STOA	INV E - 756	µm/m	-	15	3,3	2156.7
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto II Envejecida en STOA + LTOA	INV E - 756	µm/m	-	15	4,3	2581.1

En la Figura 93 se presenta una comparación de la Influencia de la temperatura de compactación sobre los vacíos con aire en las mezclas MD12 con los ligantes modificados con los dos productos. En esta figura se observa que el porcentaje de vacíos incrementa a medida que se disminuye la temperatura de compactación; siendo el porcentaje de vacíos, junto a los valores de Estabilidad y Flujo, un buen indicador de la manejabilidad de la mezcla que permite determinar, para este tipo de mezclas asfálticas, las temperaturas de mezclado y compactación al ser comparados con los valores estandarizados por la especificación IDU para una mezcla MD12 (Instituto de desarrollo urbano IDU, 2011b).

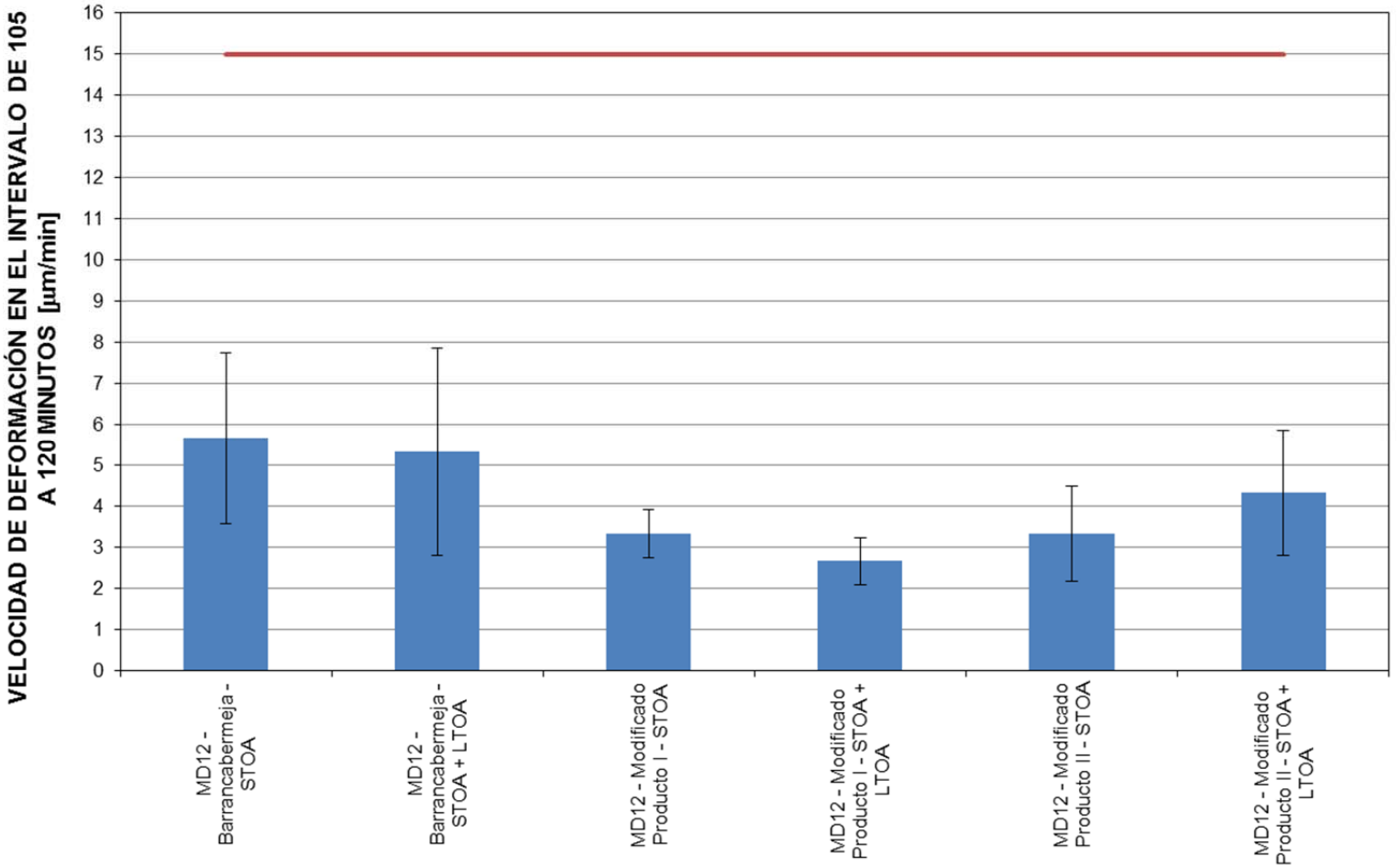


Figura 83. Velocidad de deformación de las mezclas asfálticas en el intervalo de 105 a 120 minutos

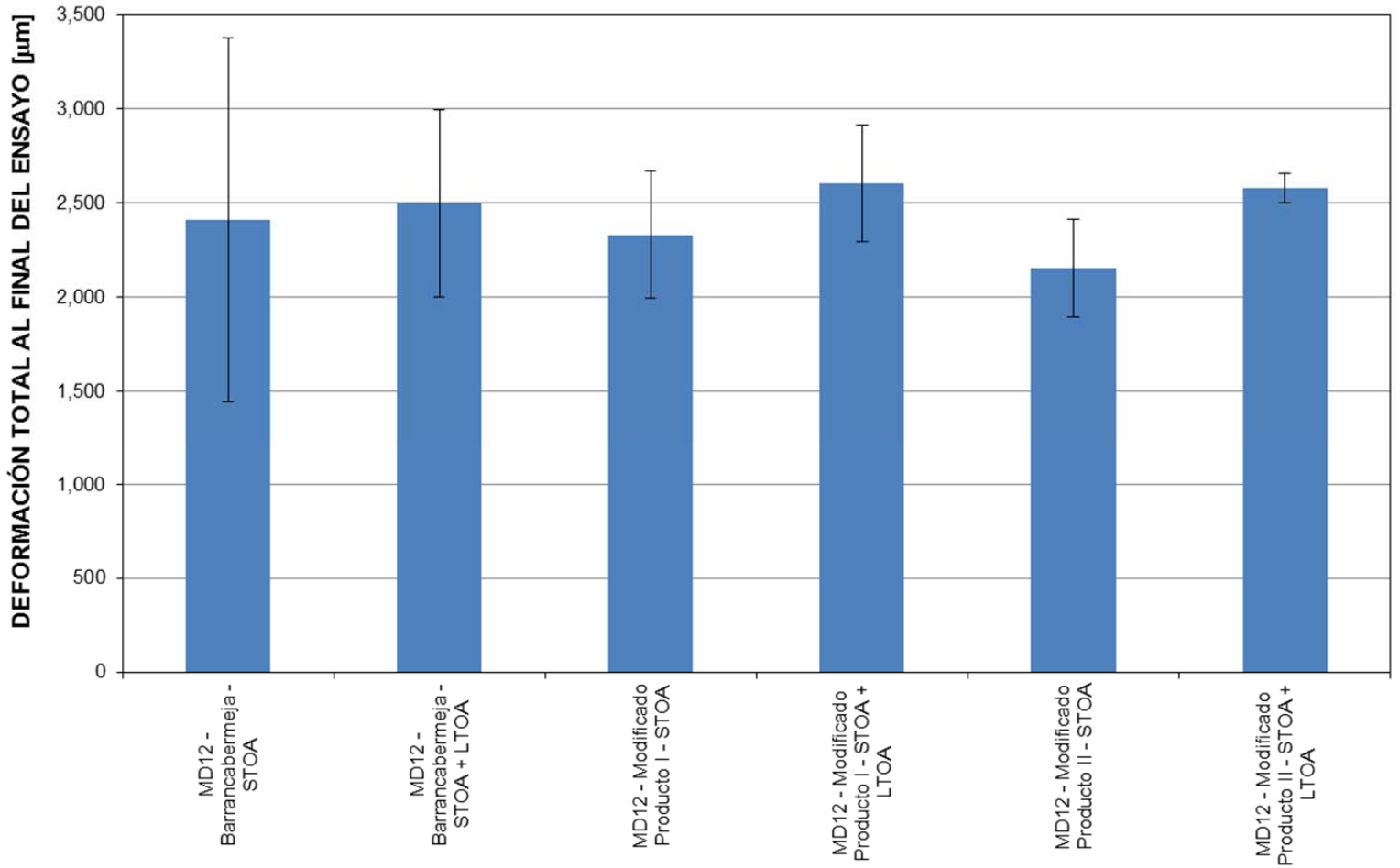


Figura 84. Deformación total al final del ensayo de las mezclas asfálticas

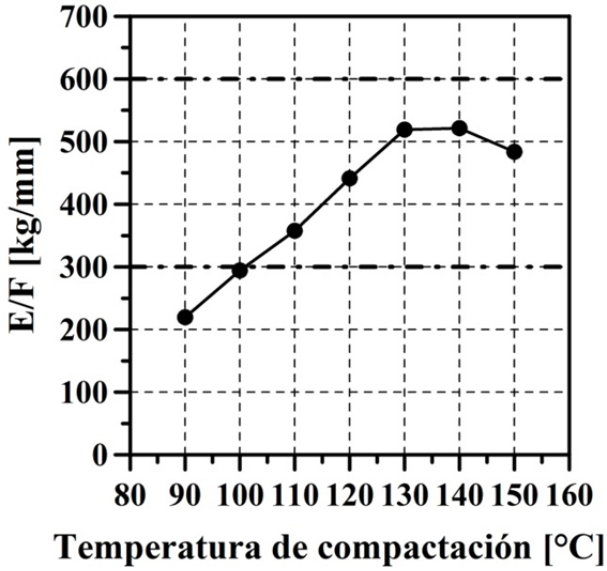


Figura 85. Influencia de la temperatura de compactación sobre la relación E/F en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto I

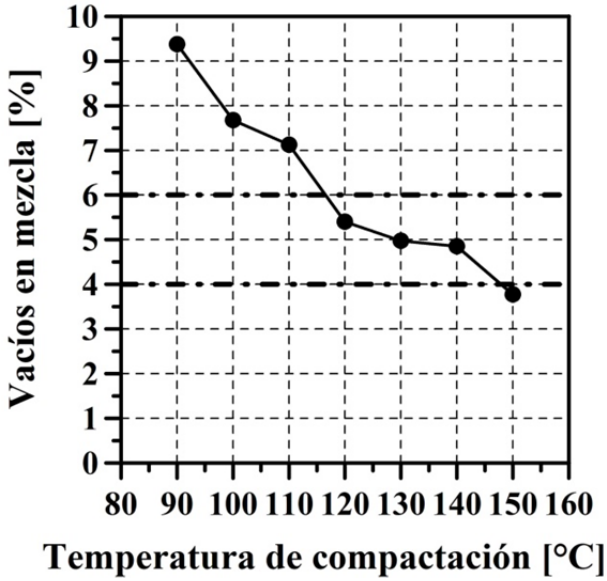


Figura 86. Influencia de la temperatura de compactación sobre los vacíos con aire en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto I

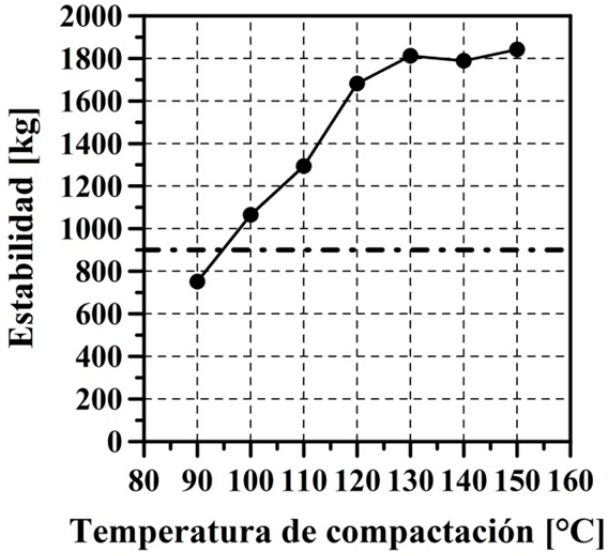


Figura 87. Influencia de la temperatura de compactación sobre la estabilidad en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto I

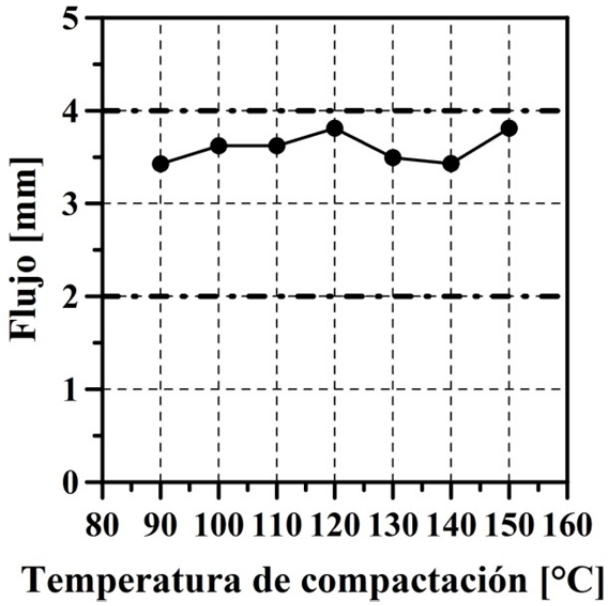


Figura 88. Influencia de la temperatura de compactación sobre el flujo en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto I

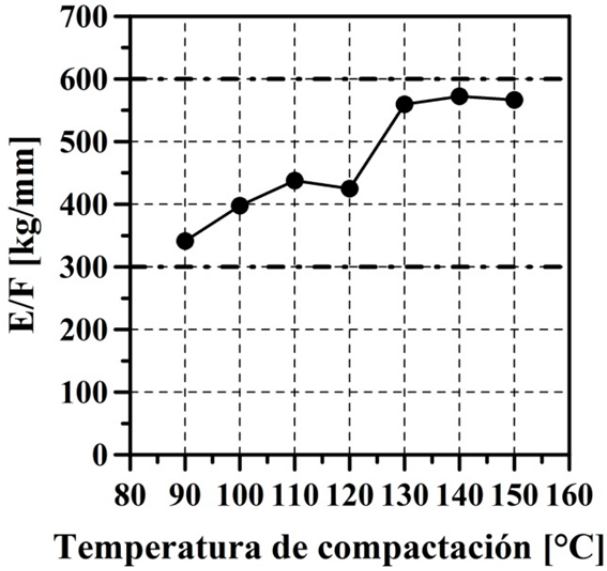


Figura 89. Influencia de la temperatura de compactación sobre la relación E/F en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto II

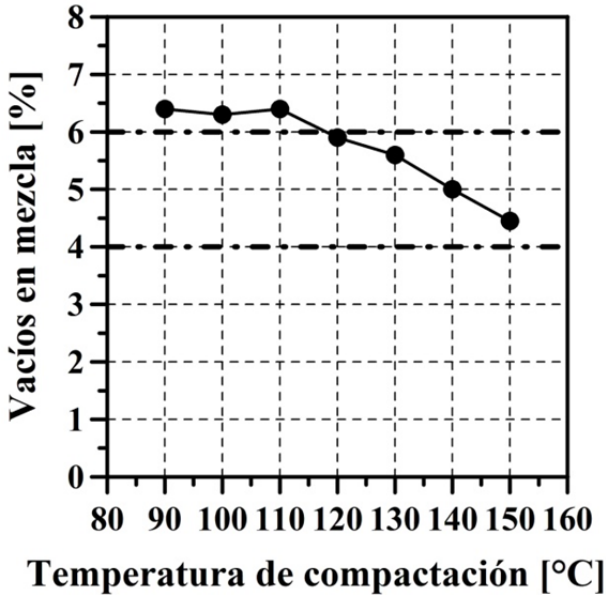


Figura 90. Influencia de la temperatura de compactación sobre los vacíos con aire en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto II

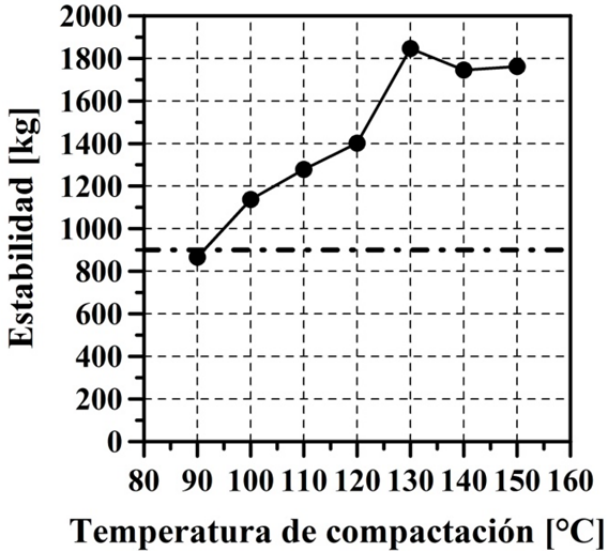


Figura 91. Influencia de la temperatura de compactación sobre la estabilidad en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto II

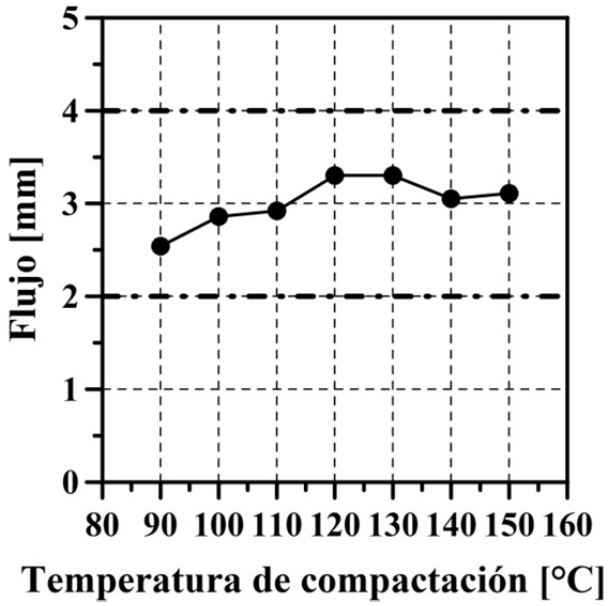


Figura 92. Influencia de la temperatura de compactación sobre el flujo en la mezcla MD12 con CA modificado con el producto II

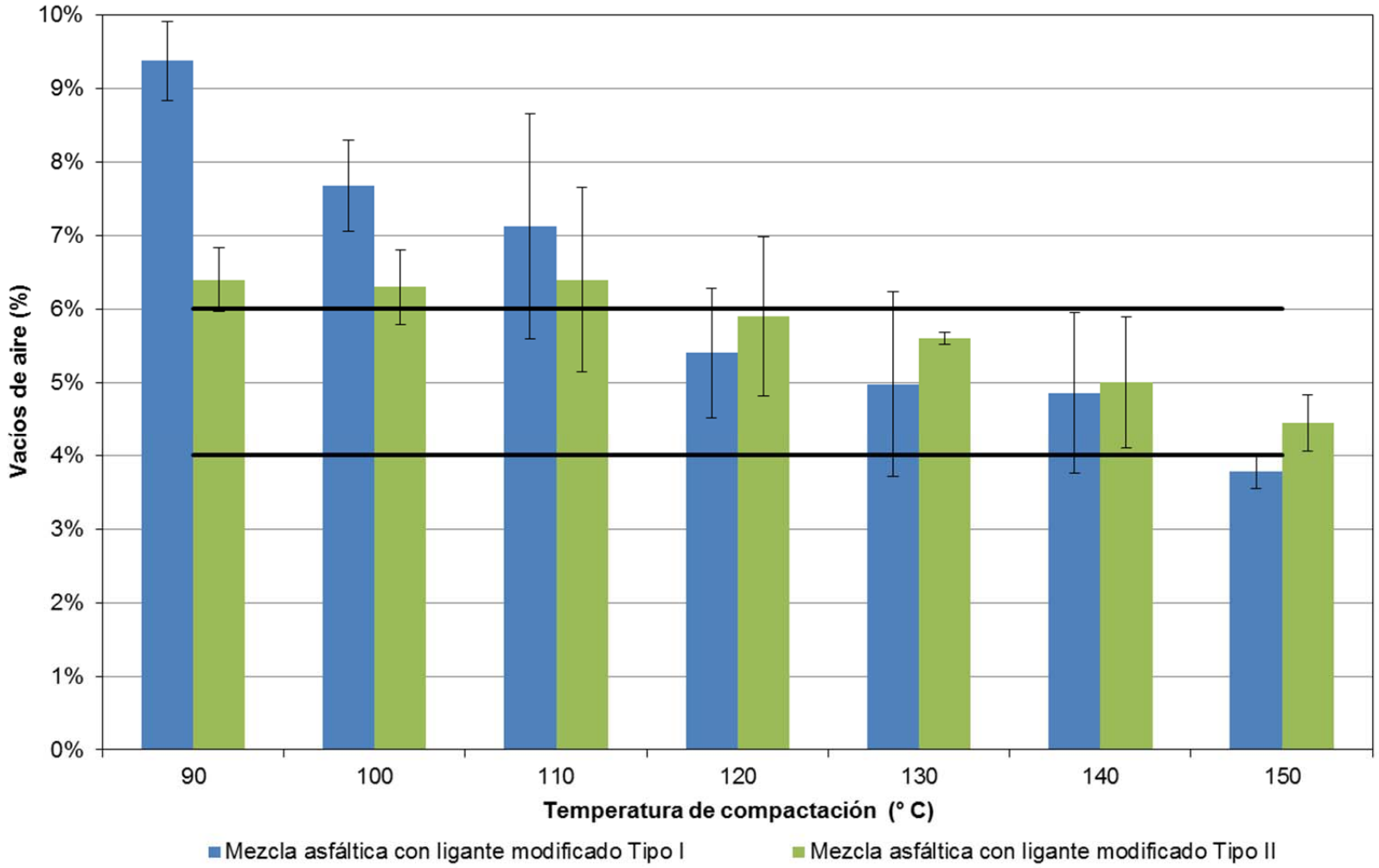


Figura 93. Comparación de la Influencia de la temperatura de compactación sobre los vacíos con aire en las mezclas MD12 con CA modificado los dos productos

Con base en los resultados mostrados en la Tabla 32 y la Tabla 33 se puede concluir que, tanto los resultados de resistencia al daño causado por humedad como los de resistencia a la deformación plástica, cumplen con los valores que actualmente están estandarizados por la especificación IDU (Instituto de desarrollo urbano IDU, 2011b). Por otro lado, se observa el incremento típico que experimentan en su resistencia las mezclas cuando son sometidas a procesos de envejecimiento en STOA y LTOA; adicionalmente se reporta, que las mezclas MD12 que fueron fabricadas con los asfaltos modificados tipo I y II experimentaron mayor resistencia al daño por humedad y a las deformaciones plásticas (ahuellamiento) que aquellas fabricadas con el ligante sin modificar (CA 60-70 convencional de Barrancabermeja).

Con el fin de verificar si las muestras fueron fabricadas con el contenido óptimo de ligante presentado en la Tabla 31, se ejecutó el ensayo de extracción cuantitativa de asfalto (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007l). Sobre las mezclas envejecidas a largo plazo (LTOA), y fabricadas con CA modificado con los productos I y II, se obtuvo como resultado, luego de la extracción, un contenido de asfalto de 5,37% y 5,41% respectivamente. Adicionalmente, sobre el asfalto extraído se ejecutó nuevamente el ensayo de caracterización reológica mediante reómetro de corte dinámico (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007q) (ver Tabla 34 y Tabla 35) en donde se observa que el asfalto extraído de todas las mezclas asfálticas elaboradas con estos ligantes modificados experimentaron un incremento notable en su rigidez y viscosidad. Lo anterior debido principalmente a que estos asfaltos estuvieron sujetos a cuatro procesos de envejecimiento: STOA y LTOA al momento de la elaboración de las mezclas asfálticas, y RTFOT y PAV al momento de la ejecución del ensayo de DSR (por sus siglas en inglés de *Dynamic Shear Rheometer*) para determinar los valores del módulo de corte G^* y la relación $|G^*|/\sin\delta$.

Tabla 34. Caracterización reológica del asfalto extraído de la mezcla MD12 envejecida en STOA + LTOA y fabricada con CA modificado con el producto I

Temperatura	Frecuencia	δ	G^*	$\lvert G^*\rvert/\text{sen}\delta$	$\lvert G^*\rvert \cdot \text{sen}\delta$	Viscosidad
[° C]	[rad/s]	[°]	[Pa]	[kPa]	[kPa]	[Pa·s]
CA modificado con producto I extraído sin envejecer						
70	10	65	3362,00	3,71	3,05	304,84
76	10	66	2072,00	2,26	1,90	189,80
82	10	69	1300,00	1,39	1,22	121,50
CA modificado con producto I extraído envejecido en RTFOT						
76	10	66	4306,00	4,71	3,94	394,04
82	10	68	2457,00	2,65	2,28	227,54
88	10	70	1351,00	1,44	1,27	127,09

Temperatura	Frecuencia	δ	G^*	$\lvert G^*\rvert/\text{sen}\delta$	$\lvert G^*\rvert \cdot \text{sen}\delta$	Viscosidad
[° C]	[rad/s]	[°]	[Pa]	[kPa]	[kPa]	[Pa·s]
CA modificado con producto I extraído envejecido en RTFOT + PAV						
13	10	35	12043000,00	20862,00	6953,60	695360,00
16	10	37	8560100,00	14187,00	5164,80	516480,00
19	10	39	6035000,00	9581,00	3801,50	380150,00

Tabla 35. Caracterización reológica del asfalto extraído de la mezcla MD12 envejecida en STOA + LTOA y fabricada con CA modificado con el producto II

Temperatura	Frecuencia	δ	G^*	$\lvert G^*\rvert/\text{sen}\delta$	$\lvert G^*\rvert \cdot \text{sen}\delta$	Viscosidad
[° C]	[rad/s]	[°]	[Pa]	[kPa]	[kPa]	[Pa·s]
CA modificado con producto II extraído sin envejecer						
70	10	74	2940,60	3,06	2,82	282,34
76	10	76	1588,00	1,64	1,54	154,02
82	10	78	871,00	0,89	0,85	85,08
CA modificado con producto II extraído envejecido en RTFOT						
76	10	72	3810,00	4,02	3,61	361,37
82	10	74	2022,00	2,11	1,94	194,03
88	10	75	1114,00	1,15	1,08	107,68
CA modificado con producto II extraído envejecido en RTFOT + PAV						
16	10	36	11412000,00	19529,00	6668,30	666830,00
19	10	38	8136100,00	13290,00	4981,00	498100,00
22	10	39	6425300,00	10256,40	4025,00	402500,00

5.4 Análisis de resultados y recomendaciones de la caracterización dinámica de mezclas asfálticas

5.4.1 Módulo resiliente

En la Tabla 36 y la Figura 94 se presenta la evolución del Módulo Resiliente con la temperatura y la frecuencia de carga para la mezcla de concreto asfáltico tipo MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja, y acondicionada bajo un proceso de envejecimiento a corto plazo (STOA). La Figura 95 muestra un incremento en la rigidez entre 42,7% y 54,6% para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 de Barrancabermeja, cuando dicha mezcla es envejecida en LTOA y la temperatura (T) del

ensayo es de 10° C y 20° C. Para el caso de T=30° C, este incremento oscila entre 26,6% y 34,5%. Se observa en la Figura 94 y Figura 95 un incremento típico del módulo cuando se aumenta la frecuencia de carga y disminuye la temperatura del ensayo.

Tabla 36. Resumen de ensayos de módulo resiliente de la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja

F [Hz]	T [° C]	Mr [MPa]	F [Hz]	T [° C]	Mr [MPa]	F [Hz]	T [° C]	Mr [MPa]
MD12 fabricada con asfalto sin modificar - STOA								
2,5		7786	2,5		3826	2,5		1558
5	10	9286	5	20	4508	5	30	1879
10		10863	10		5589	10		2426
MD12 fabricada con asfalto sin modificar – STOA + LTOA								
2,5		12034	2,5		5792	2,5		1973
5	10	14109	5	20	6928	5	30	2506
10		15499	10		8022	10		3263

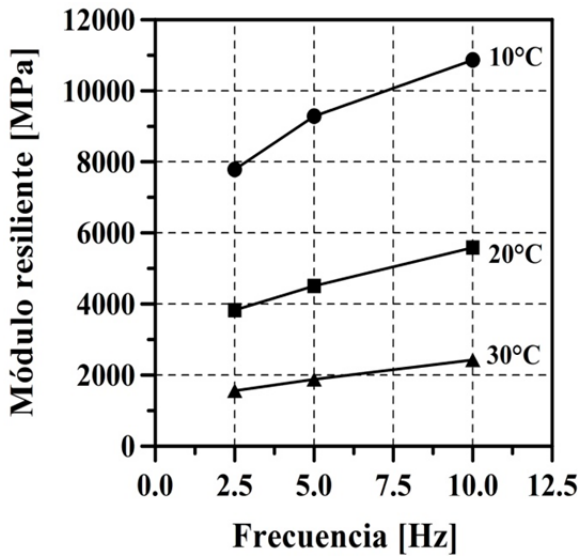


Figura 94. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 de Barrancabermeja - STOA

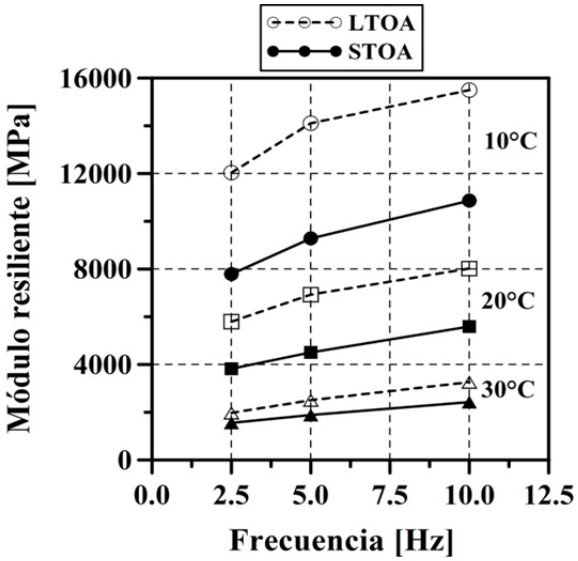


Figura 95. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 con CA 60-70 de Barrancabermeja (STOA y LTOA)

En la Tabla 37 y la Figura 96 a la Figura 102 se presenta la evolución del módulo resiliente con la temperatura y la frecuencia de carga para las mezclas de concreto asfáltico tipo MD12 fabricadas con CA modificado con los productos I y II, acondicionadas

en STOA y LTOA. Se observa que la mezcla MD12 fabricada con CA modificado con el producto II experimenta mayor rigidez bajo carga cíclica en comparación con aquella fabricada con CA modificado con el producto I (Figura 98 a Figura 100). Lo anterior es debido principalmente a la mayor rigidez y viscosidad que reporta el CA modificado con el producto II en los ensayos de caracterización física y reológica. El incremento promedio en rigidez es de 1,2, 1,26 y 1,4 veces cuando la temperatura de ensayo es de 10° C, 20° C y 30° C respectivamente. De la misma forma, en la Figura 101 se observa que las mezclas modificadas experimentan mayor rigidez bajo carga cíclica que aquella fabricada con CA 60-70 convencional proveniente de Barrancabermeja, cuando son acondicionadas bajo un proceso de envejecimiento a corto plazo (STOA). La mezcla fabricada con el CA modificado con el producto II experimenta 1,36, 1,4 y 1,47 veces mayor rigidez que aquella fabricada con CA 60-70 de Barrancabermeja cuando la temperatura de ensayo es de 10° C, 20° C y 30° C respectivamente. Para el caso de la mezcla fabricada con CA modificado con el producto I, se observa un ligero incremento en la rigidez de 1,13, 1,11 y 1,05 veces en comparación con aquella fabricada con CA 60-70 de Barrancabermeja, cuando la temperatura de ensayo es de 10° C, 20° C y 30° C respectivamente. Lo anterior hace prever que al emplear mezclas tipo MD12 fabricadas con los ligantes modificados tipo I y II, dichas mezclas experimentarán mayor resistencia a las deformaciones plásticas bajo carga cíclica (ahuellamiento) que aquella fabricada con el asfalto CA 60-70 convencional producido en Barrancabermeja.

Tabla 37. Resumen de ensayos de módulo resiliente de la mezcla MD12 fabricada con asfalto modificado tipo I y II

F [Hz]	T [° C]	Mr [MPa]	F [Hz]	T [° C]	Mr [MPa]	F [Hz]	T [° C]	Mr [MPa]
MD12 fabricada con asfalto modificado tipo I - STOA								
2,5		8781	2,5		4365	2,5		1599
5	10	10745	5	20	5133	5	30	1965
10		11892	10		5794	10		2592
MD12 fabricada con asfalto modificado tipo I – STOA + LTOA								
2,5		10875	2,5		5693	2,5		2166
5	10	11895	5	20	6250	5	30	2564
10		13406	10		7660	10		3551
MD12 fabricada con asfalto modificado tipo II - STOA								
2,5		11164	2,5		5627	2,5		2241
5	10	12842	5	20	6219	5	30	2712
10		13608	10		7438	10		3697
MD12 fabricada con asfalto modificado tipo II – STOA + LTOA								

F [Hz]	T [° C]	Mr [MPa]	F [Hz]	T [° C]	Mr [MPa]	F [Hz]	T [° C]	Mr [MPa]
2,5		13783	2,5		7443	2,5		2894
5	10	14519	5	20	8353	5	30	3545
10		15461	10		9584	10		4552

En la Figura 99 se muestra un incremento en la rigidez entre 12,7% y 23,8%, 21,8% y 32,2% y 30,5% y 37,0% para la mezcla MD12 fabricada con CA modificado con el producto I, cuando dicha mezcla es envejecida en LTOA y la temperatura (T) del ensayo es de 10° C, 20° C y 30° C respectivamente. Para el caso de la mezcla MD12 fabricada con CA modificado con el producto II (Ver Figura 100), este incremento en la rigidez, debido al envejecimiento en LTOA, es entre 13,1% y 23,5%, 28,8% y 34,3% y 23,1% y 30,7% para T=10° C, 20° C y 30° C respectivamente.

En la Figura 102 se observa, que la mezcla MD12 más susceptible a cambiar sus propiedades e incrementar su rigidez, cuando es sometida a procesos de envejecimiento a largo plazo (LTOA), es la fabricada con CA 60-70 convencional, y la menos susceptible es la fabricada con asfalto modificado con el producto I. Estos resultados son coherentes con los cambios reportados con anterioridad de las propiedades físicas y reológicas de los asfaltos cuando estos son sometidos a procesos de envejecimiento a corto y largo plazo. Lo anterior hace prever que al emplear mezclas tipo MD12 fabricadas con los ligantes modificados tipo I y II, dichas mezclas experimentarán mayor resistencia al envejecimiento a largo plazo y resistencia a la deformación permanente in situ que aquella fabricada con el asfalto CA 60-70 convencional producido en Barrancabermeja.

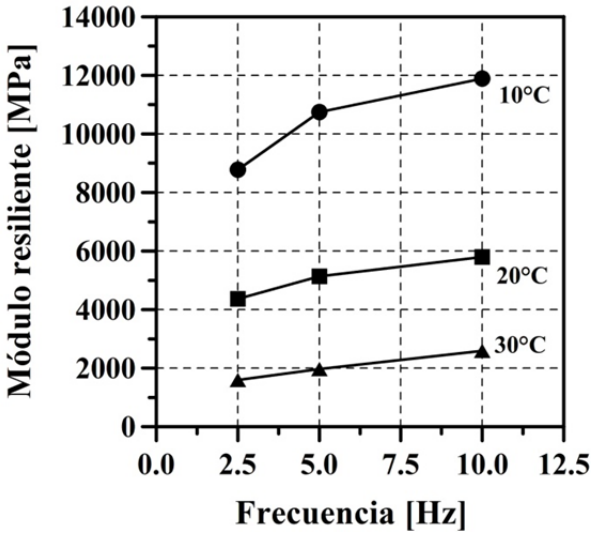


Figura 96. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 con CA modificado con el producto I – STOA

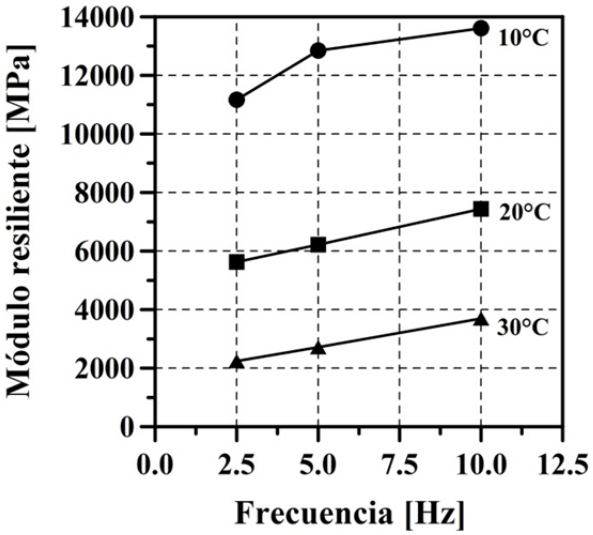


Figura 97. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 con CA modificado con el producto II – STOA

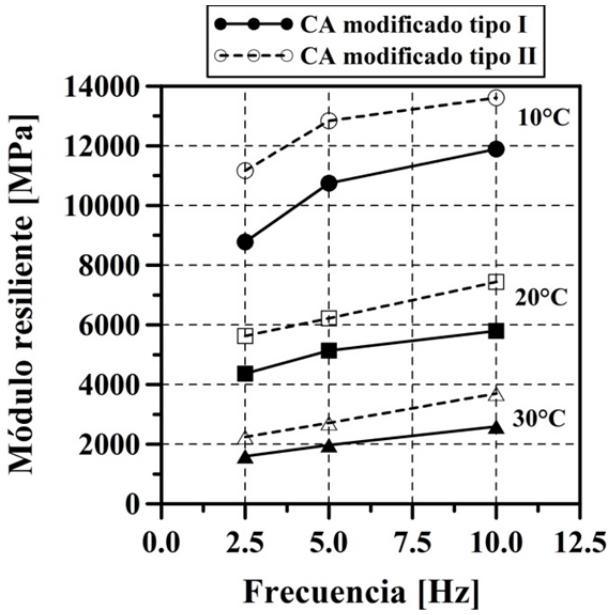


Figura 98. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 fabricada con CA modificado con los productos I y II - (STOA)

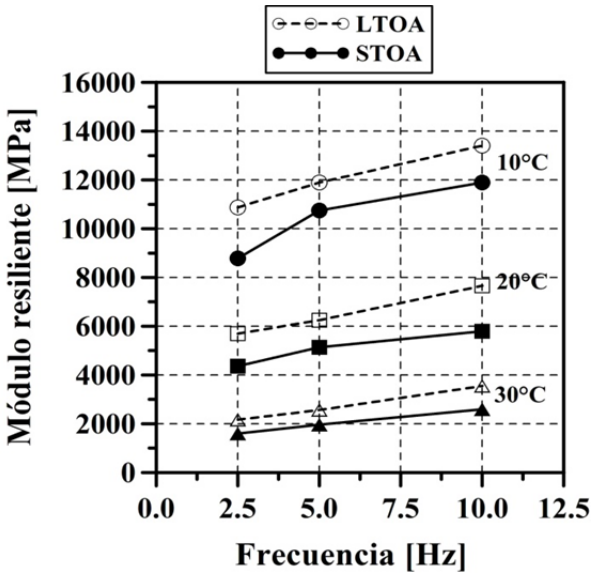


Figura 99. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 con CA modificado con el producto I - (STOA y LTOA)

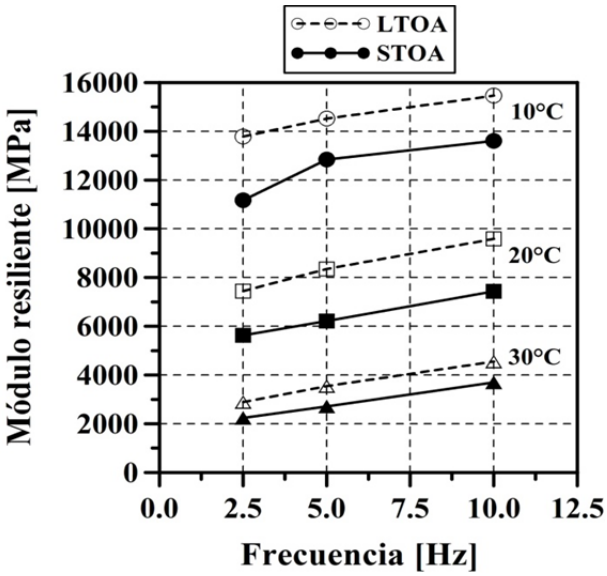


Figura 100. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 con CA modificado con el producto II - (STOA y LTOA)

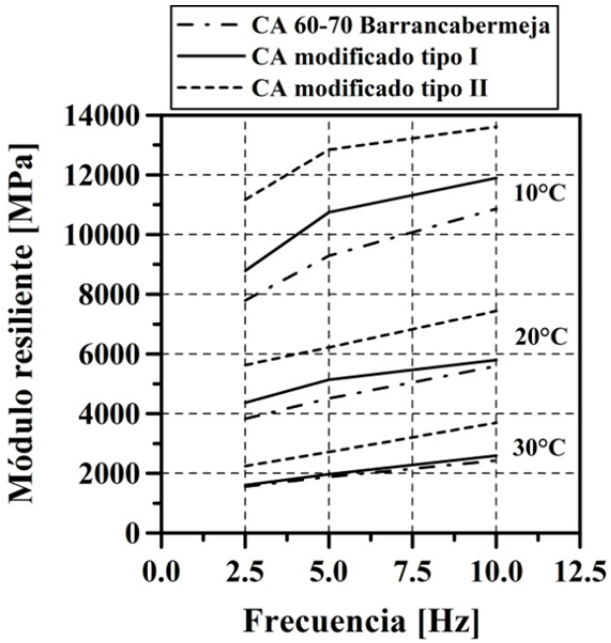


Figura 101. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 fabricada con CA modificado con los productos I y II, y CA 60-70 de Barrancabermeja - (STOA)

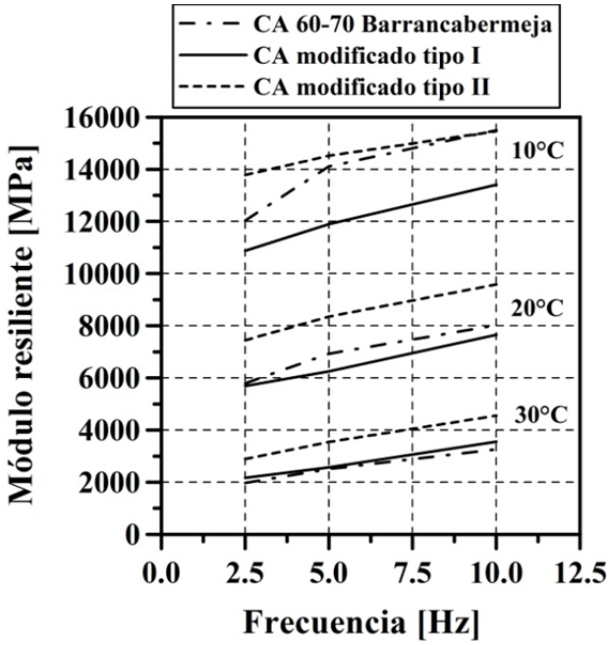


Figura 102. Evolución del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) y la temperatura (T) para mezcla MD12 fabricada con CA modificado con los productos I y II, y CA 60-70 de Barrancabermeja - (LTOA).

En la Tabla 510.5 de la Especificación IDU 510-11 (2011b) se reporta que, las mezclas tipo MD12 son utilizadas principalmente para la conformación de capas de rodadura. Con base en los resultados reportados en la Figura 96 a la Figura 102 se puede sugerir como valor mínimo recomendado de módulo resiliente (Mr) para capas de rodadura los enunciados en la Tabla 38.

Tabla 38. Valores recomendados de módulo resilientes (Mr) para capas de rodadura fabricada con CA 60-70 convencional y modificado con asfalto tipo I y II.

CAPA	T [° C]	f [Hz]	v [km/h]	M_r [MPa]
Rodadura CA 60-70 de Barrancabermeja	10	2,5	15-25	7500
		5,0	35-45	9000
		10,0	70-80	10500
	15	2,5	15-25	5500
		5,0	35-45	6600
		10,0	70-80	7900
	20	2,5	15-25	3700
		5,0	35-45	4500
		10,0	70-80	5500

CAPA	T [° C]	f [Hz]	v [km/h]	M_r [MPa]
	25	2,5	15-25	2500
		5,0	35-45	3100
		10,0	70-80	3900
	30	2,5	15-25	1500
		5,0	35-45	1800
		10,0	70-80	2400
Rodadura CA 60-70 modificado con asfalto tipo I	10	2,5	15-25	7800
		5,0	35-45	9400
		10,0	70-80	11000
	15	2,5	15-25	5700
		5,0	35-45	6900
		10,0	70-80	8200
	20	2,5	15-25	3800
		5,0	35-45	4700
		10,0	70-80	5700
	25	2,5	15-25	2600
		5,0	35-45	3200
		10,0	70-80	4000
	30	2,5	15-25	1600
		5,0	35-45	1900
		10,0	70-80	2500
Rodadura CA 60-70 modificado con asfalto tipo II	10	2,5	15-25	9000
		5,0	35-45	10800
		10,0	70-80	12600
	15	2,5	15-25	6600
		5,0	35-45	7900
		10,0	70-80	9400
	20	2,5	15-25	4400
		5,0	35-45	5400
		10,0	70-80	6600
	25	2,5	15-25	3000
		5,0	35-45	3700
		10,0	70-80	4600

CAPA	T [° C]	f [Hz]	v [km/h]	M_r [MPa]
	30	2,5	15-25	1800
		5,0	35-45	2100
		10,0	70-80	2800

En la Figura 103 a la Figura 105 se hace una comparación de la variación del Módulo Resiliente con la frecuencia (F), para todas las mezclas a 10° C, 20° C y 30° C, respectivamente. Igualmente, en la Figura 106 a la Figura 108, se presenta la comparación de la variación del Módulo Resiliente con la temperatura (T), para todas las mezclas a 2,5 Hz, 5 Hz y 10 Hz, respectivamente.

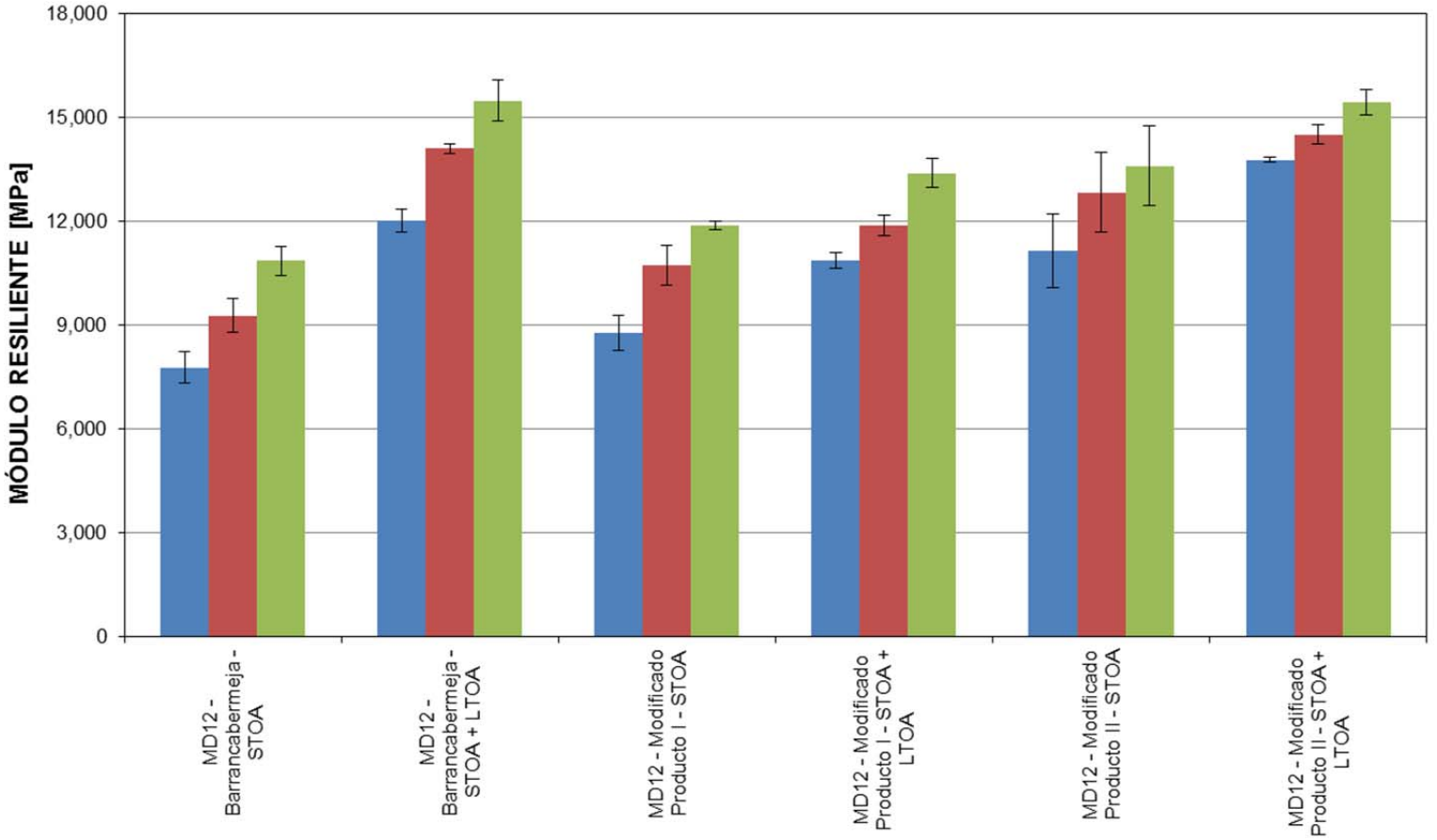


Figura 103. Comparación de la variación del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) para todas las mezclas a 10° C (azul 2,5 Hz, rojo 5 Hz, verde 10 Hz).

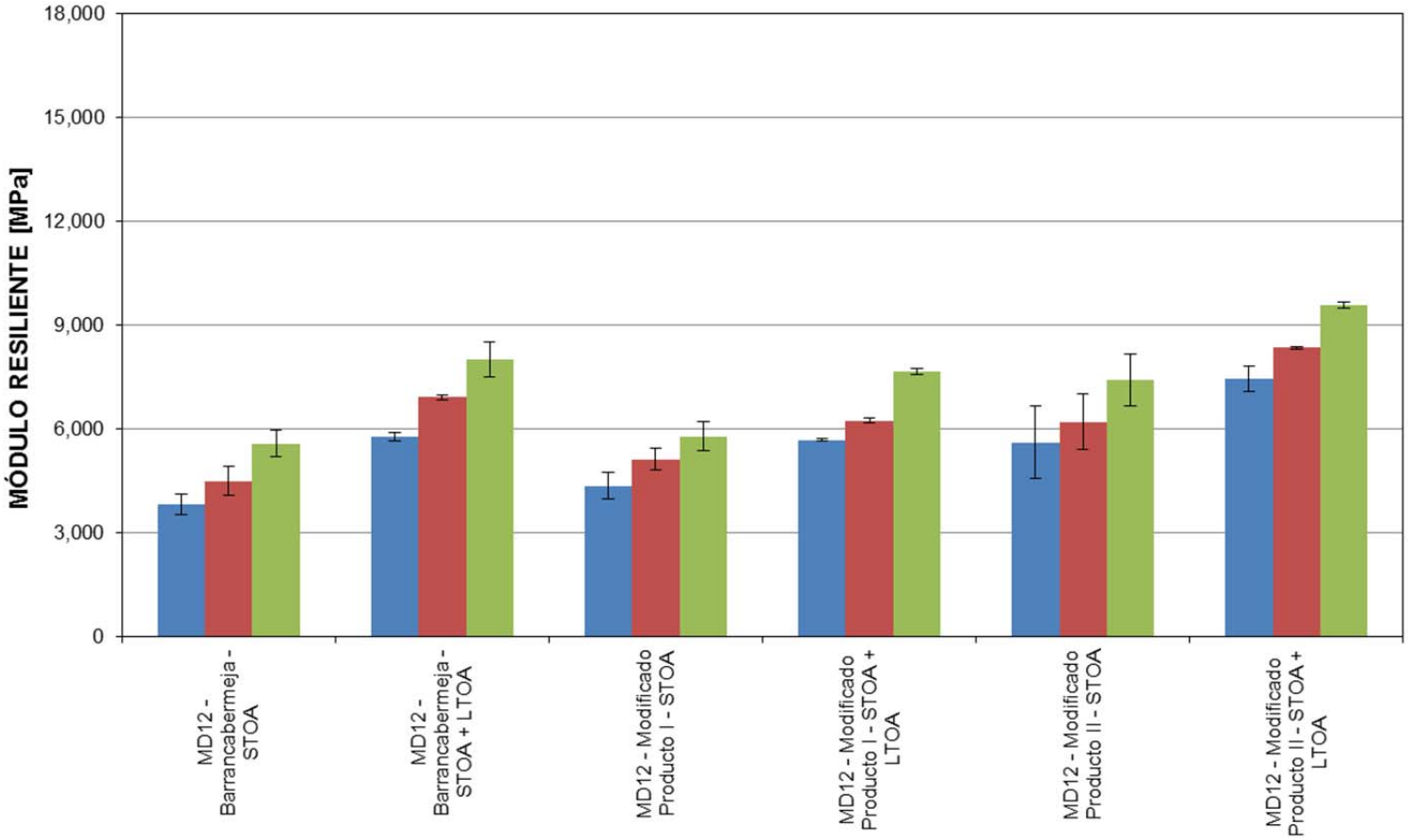


Figura 104. Comparación de la variación del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) para todas las mezclas a 20° C (azul 2,5 Hz, rojo 5 Hz, verde 10 Hz).

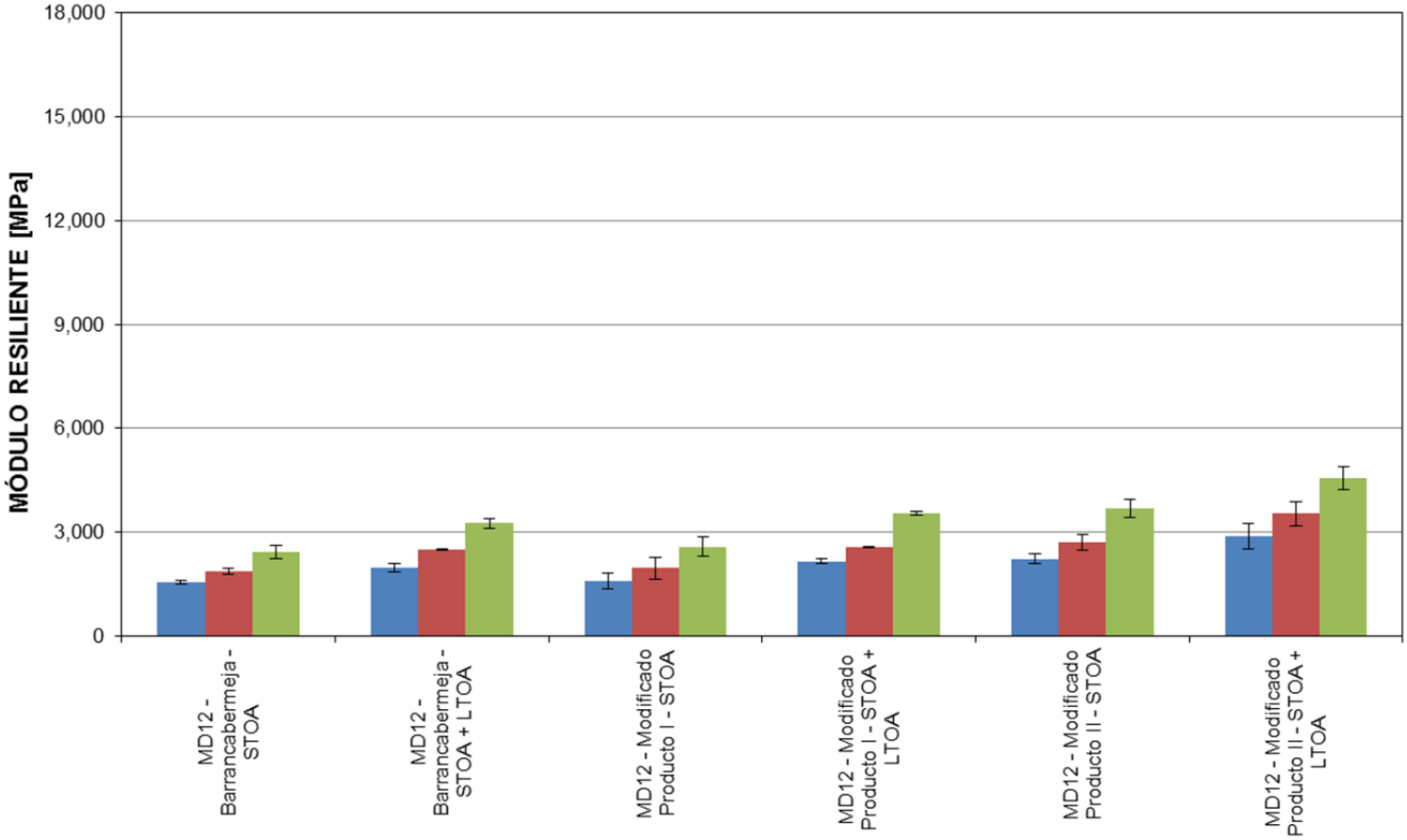


Figura 105. Comparación de la variación del Módulo Resiliente con la frecuencia (F) para todas las mezclas a 30° C (azul 2,5 Hz, rojo 5 Hz, verde 10 Hz).

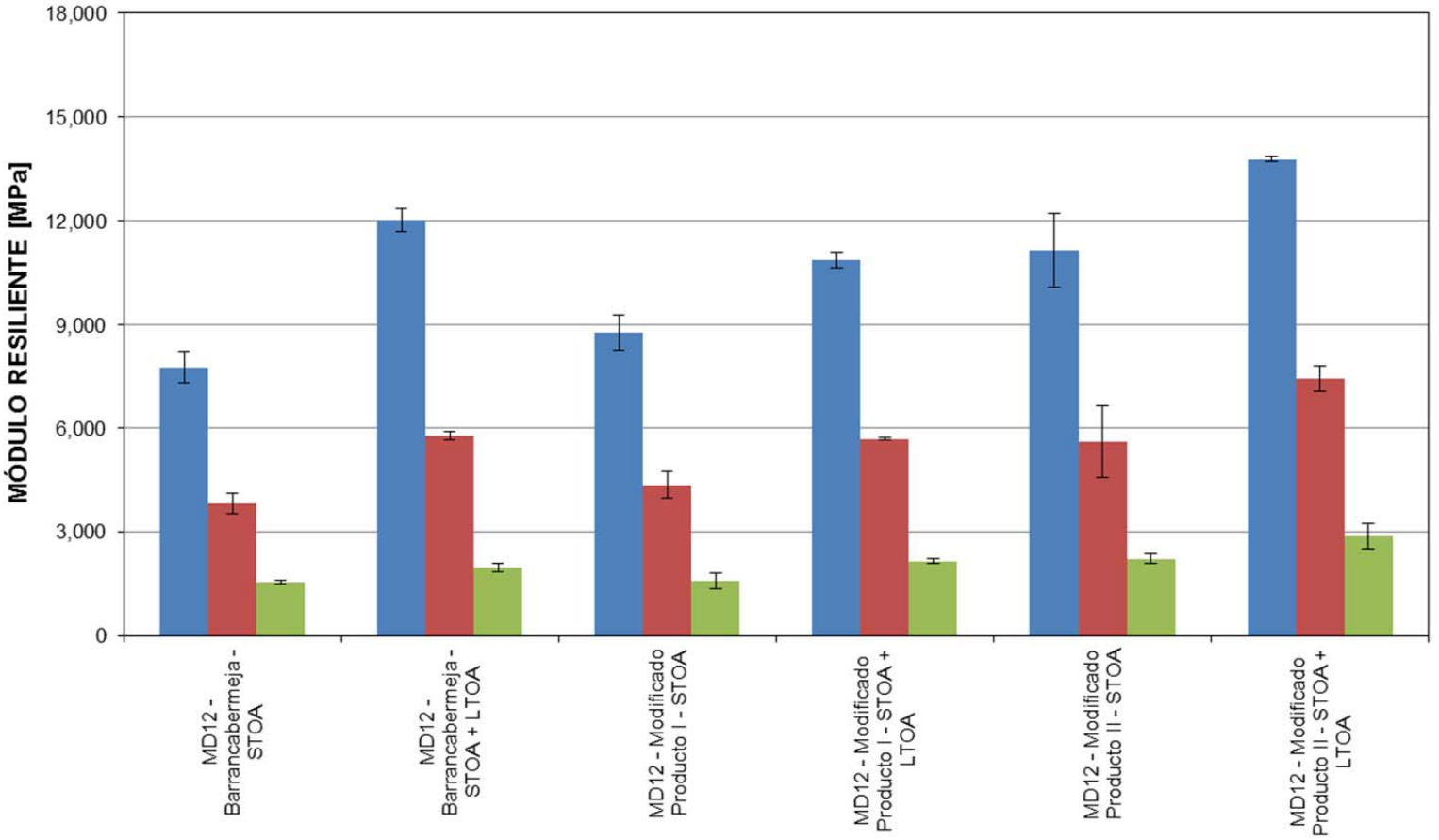


Figura 106. Comparación de la variación del Módulo Resiliente con la temperatura (T) para todas las mezclas a 2,5 Hz (azul 10° C, rojo 20° C, verde 30° C).

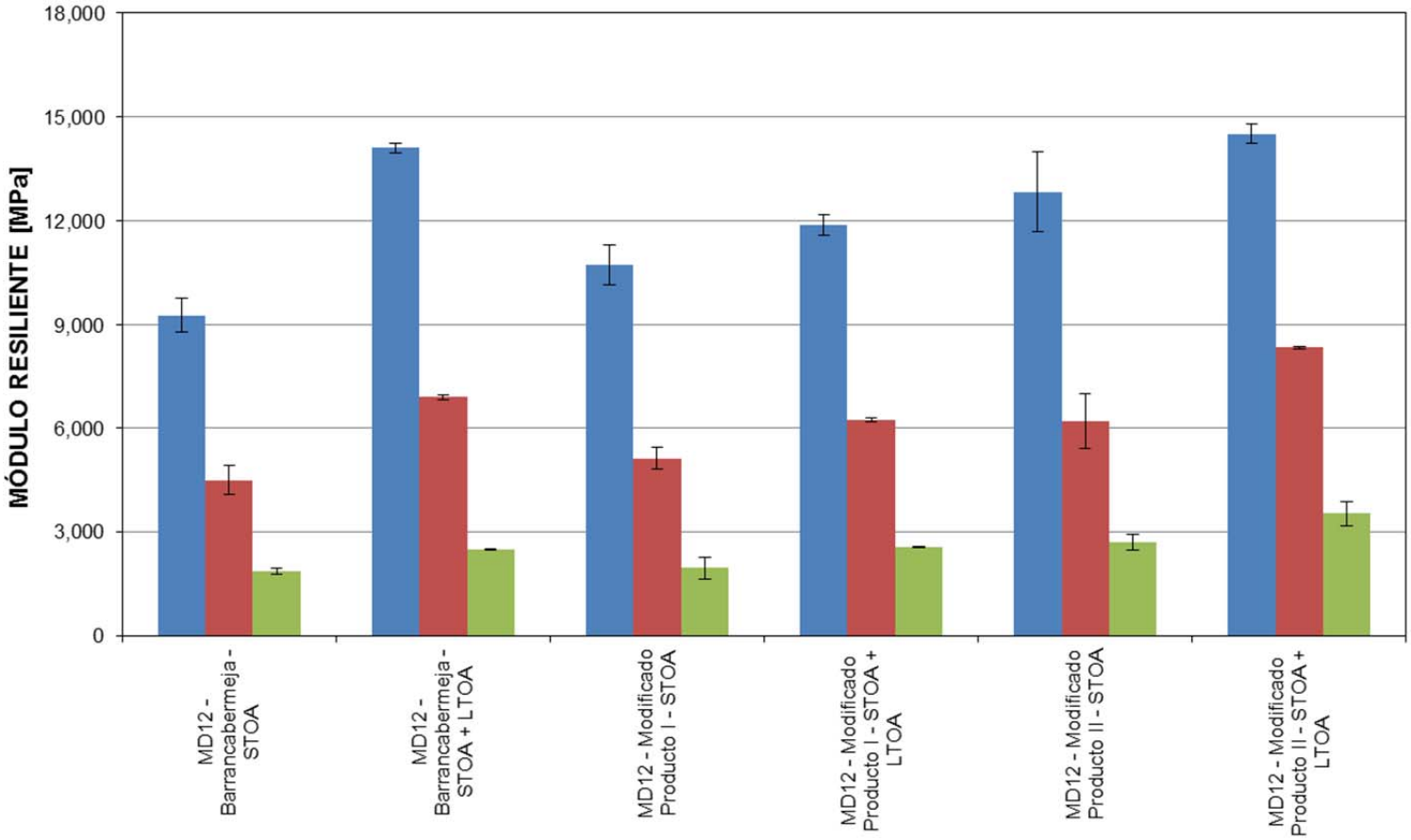


Figura 107. Comparación de la variación del Módulo Resiliente con la temperatura (T) para todas las mezclas a 5 Hz (azul 10° C, rojo 20° C, verde 30° C).

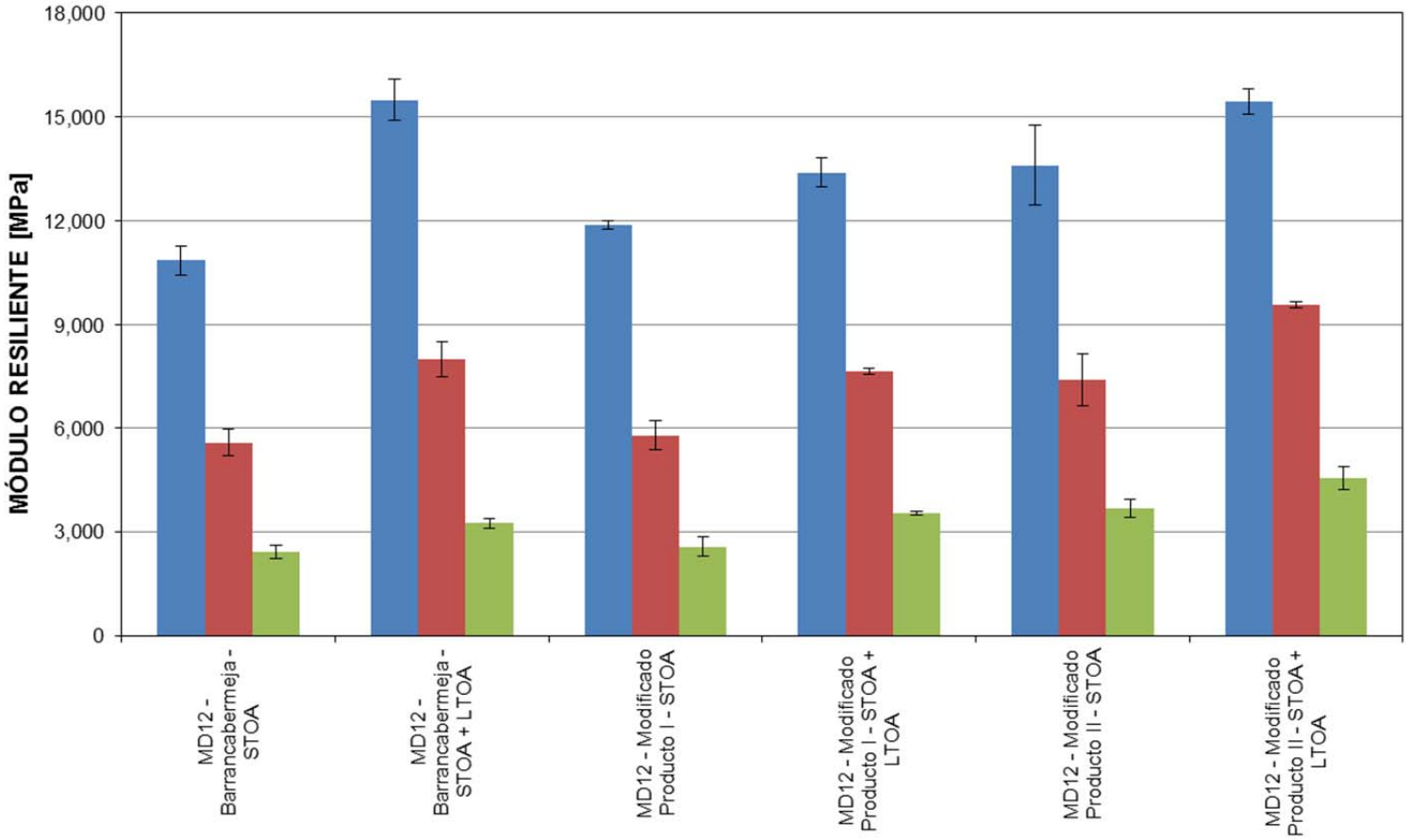


Figura 108. Comparación de la variación del Módulo Resiliente con la temperatura (T) para todas las mezclas a 10 Hz (azul 10° C, rojo 20° C, verde 30° C).

5.4.2 Resistencia a la fatiga

En la Figura 109 y Figura 110 se presenta la evolución de la vida a fatiga (número de ciclos de falla) cuando se ejecutan ensayos de resistencia a fatiga bajo el modo de carga a esfuerzo controlado sobre una mezcla MD12 acondicionada bajo un proceso de envejecimiento a corto y largo plazo (STOA y LTOA, respectivamente), fabricada con CA 60-70 de Barrancabermeja. En la Figura 111 se observa que, bajo el modo de carga de esfuerzo controlado, la mezcla MD12 experimenta, por lo general, mayor resistencia a fatiga cuando ha sido envejecida en LTOA en comparación con aquella envejecida en STOA. Estos resultados son coherentes con los de módulo resiliente reportados en la Figura 95, ya que bajo este modo de carga, es ampliamente reconocido en la literatura de referencia, que entre mayor sea la rigidez de la mezcla, mayor será su vida y resistencia al fenómeno de fatiga por carga (p. ej., Epps y Monismith, 1972; Baburamani, 1999; Di Benedetto *et al*., 2004; Di Benedetto y De la Roche, 2005). Caso contrario sucede cuando el modo de carga es el de deformación controlada, en donde las mezclas asfálticas experimentan, por lo general, su mayor vida a fatiga cuando la rigidez es menor. Es por esto que, en la Figura 111, la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 de Barrancabermeja presenta una tendencia a experimentar mayor vida a fatiga cuando se somete a envejecimiento a largo plazo (LTOA) bajo el modo de carga a esfuerzo controlado.

En la Figura 112 a la Figura 114 se presenta la evolución de la vida a fatiga de la mezcla MD12 acondicionada bajo un proceso de envejecimiento a corto y a largo plazo (STOA y LTOA, respectivamente) fabricada con CA modificado con el producto I. Para el caso de la mezcla MD12 fabricada con CA modificado con el producto II, los resultados de los ensayos de fatiga se presentan en la Figura 115 a la Figura 117. Al igual que en las mezclas fabricadas con CA 60-70 convencional, aquellas fabricadas con CA modificado tienden a experimentar, bajo el modo de carga de esfuerzo controlado, mayor resistencia a fatiga cuando incrementan su rigidez, debido a procesos de envejecimiento en LTOA.

En la Figura 118 y Figura 119 se presentan los resultados de los ensayos de fatiga de las mezclas analizadas (MD12 fabricadas con CA 60-70 convencional y modificado con los productos I y II) cuando son acondicionadas bajo un proceso de envejecimiento a corto (STOA) y largo (LTOA) plazo, respectivamente. Bajo el modo de carga de esfuerzo controlado, las mezclas MD12 fabricadas con asfalto CA 60-70 convencional y modificado con el producto I experimentan similar resistencia y vida a fatiga cuando son acondicionadas bajo un proceso de envejecimiento a corto plazo en STOA, y cuando los niveles de esfuerzo cíclicos aplicados son bajos. Bajo este modo de carga, también la tendencia general es que la mayor resistencia a fatiga la experimenta la mezcla MD12 fabricada con CA modificado con el producto II. Para resistir 10^5, 10^6 y 10^7 ciclos de carga,

la mezcla MD12 fabricada con el producto tipo II y acondicionada en STOA tuvo que ser sometida a esfuerzos cíclicos aproximados de 305 kPa, 209 kPa y 143 kPa, respectivamente; mientras que la mezcla MD12 fabricada con los otros dos asfaltos, en promedio, a 205 kPa, 110 kPa y 70 kPa. En LTOA, para resistir 10^5, 10^6 y 10^7 ciclos de carga, la mezcla MD12 fabricada con el producto tipo II tuvo que ser sometida a esfuerzos cíclicos aproximados de 377 kPa, 298 kPa y 236 kPa, respectivamente; mientras que la mezcla MD12 fabricada con los otros dos asfaltos, en promedio, a 250 kPa, 145 kPa y 85 kPa.

La deformación a tensión en el estado de falla ($\varepsilon_{x,max}$) que experimenta la mezcla MD12 fabricada con los tres asfaltos analizados es similar en los ensayos de fatiga cuando es acondicionada bajo un proceso de envejecimiento a corto plazo en STOA. En LTOA, las mezclas MD12 fabricadas con asfalto CA 60-70 convencional y modificado con el producto I experimentan similar deformación. La tendencia general es que, la menor deformación (comportamiento frágil) la experimenta la mezcla MD12 fabricada con CA modificado con el producto II, en especial cuando la amplitud de la carga o la deformación aplicada al material es pequeña. Esta deformación fue calculada con base en la Ecuación 15.

$$\varepsilon_{x,max} = \frac{\sigma_{x,max} \cdot (1 + 3 \cdot \nu)}{S_{me}}$$ **Ecuación 15**

Dónde $\sigma_{x,max}$ es el esfuerzo máximo en tensión en kPa aplicado en el centro de la muestra, S_{me} es el módulo dinámico elástico en MPa bajo un determinado esfuerzo aplicado, y ν es la relación de Poisson asumida como 0,35.

En la Tabla 39 se muestran, a manera de resumen, los valores de σ_6 (esfuerzo para que el material falle a 1x10^6 ciclos de carga bajo esfuerzo controlado), ε_6 (deformación para que el material falle a 1x10^6 ciclos de carga bajo esfuerzo controlado) y b (pendiente de la ley de fatiga), de los ensayos ejecutados.

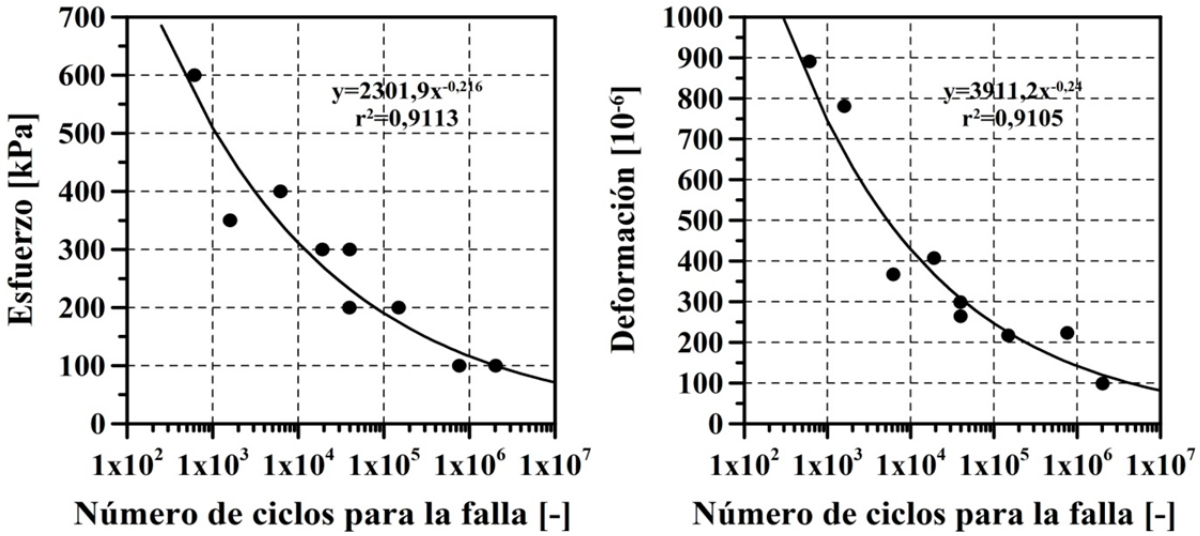


Figura 109. Fatiga MD12 con CA 60-70 de Barrancabermeja – STOA

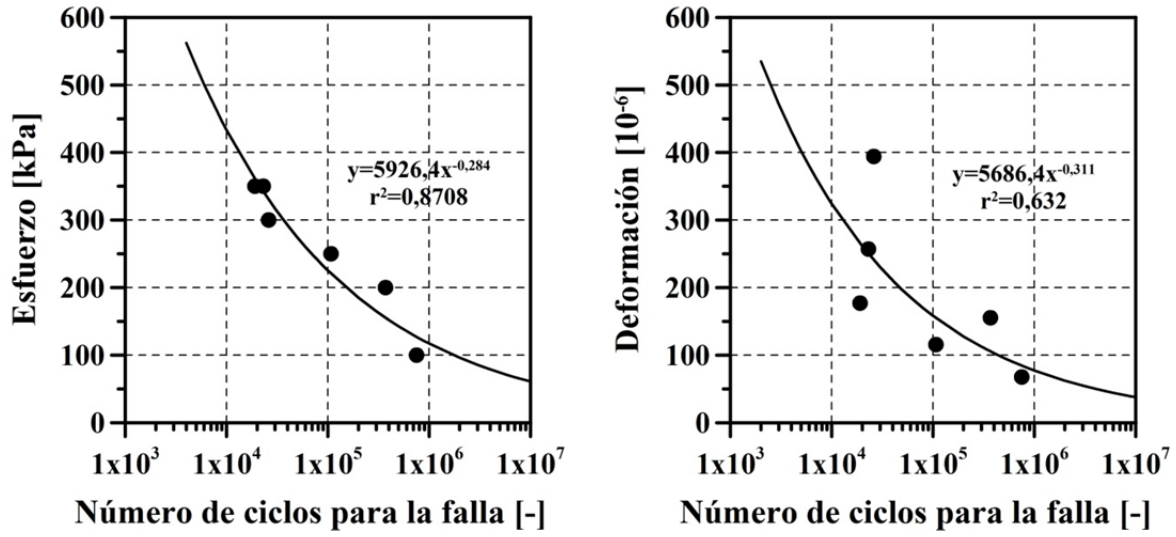


Figura 110. Fatiga MD12 con CA 60-70 Barrancabermeja – LTOA

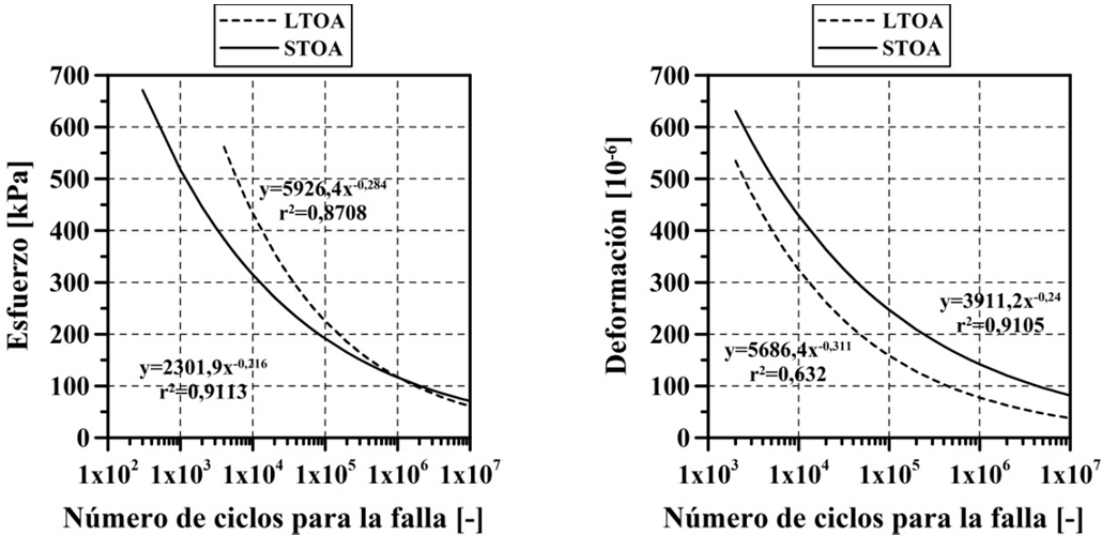


Figura 111. Fatiga MD12 con CA 60-70 Barrancabermeja – STOA y LTOA

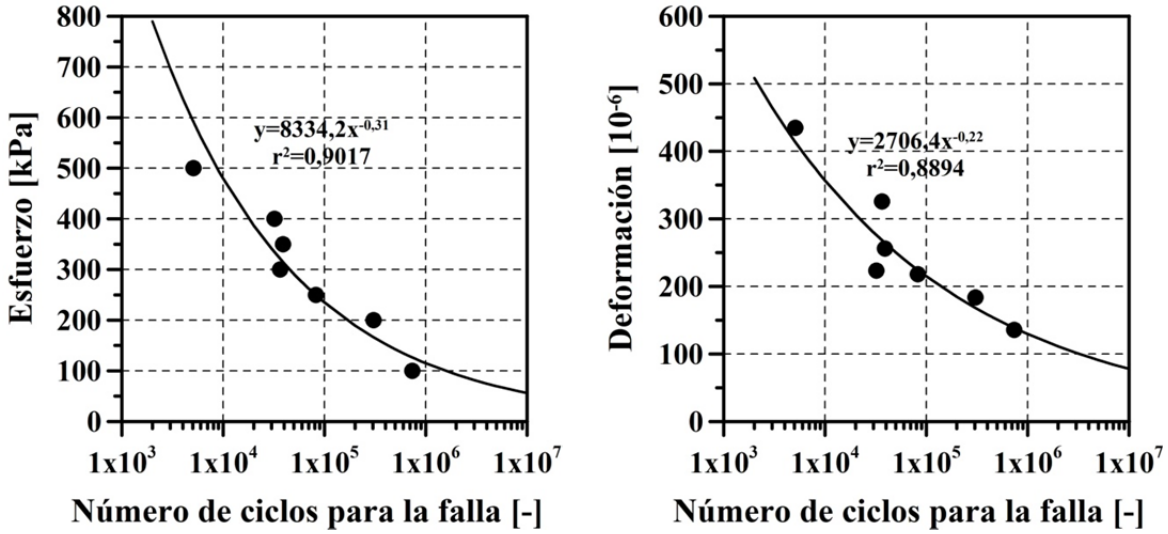


Figura 112. Fatiga MD12 con CA modificado con el producto I – STOA

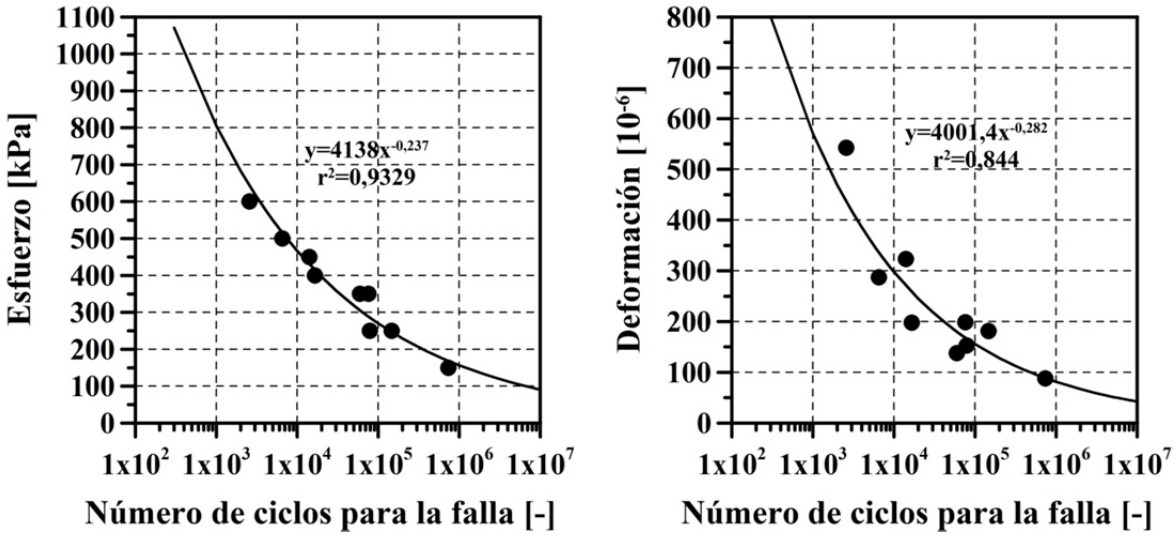


Figura 113. Fatiga MD12 con CA modificado con el producto I – LTOA

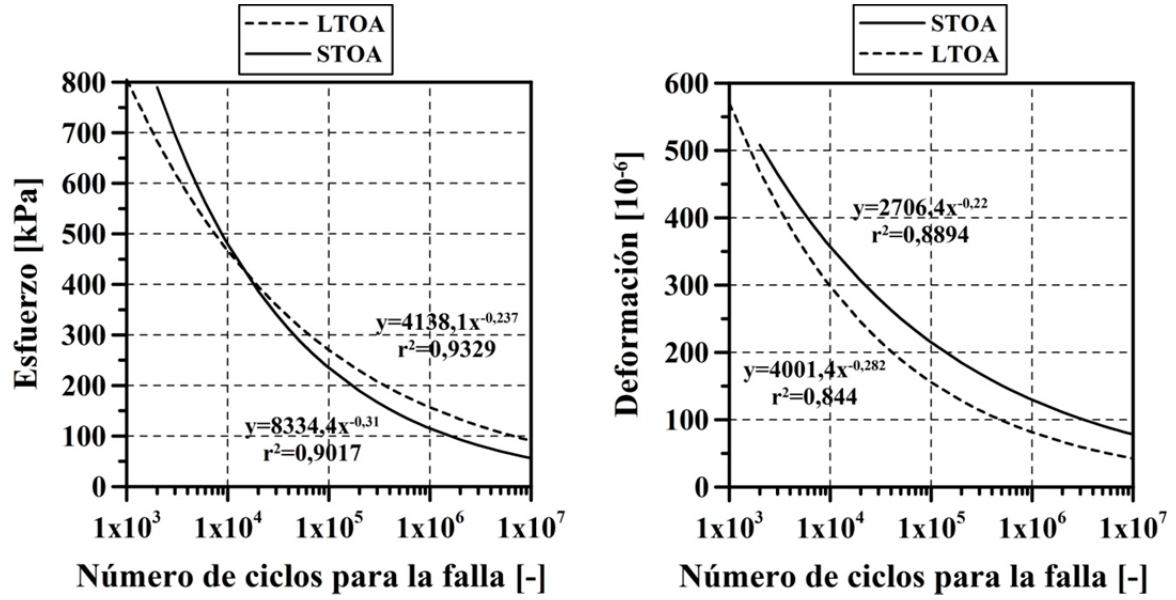


Figura 114. Fatiga MD12 con CA modificado con el producto I – STOA y LTOA

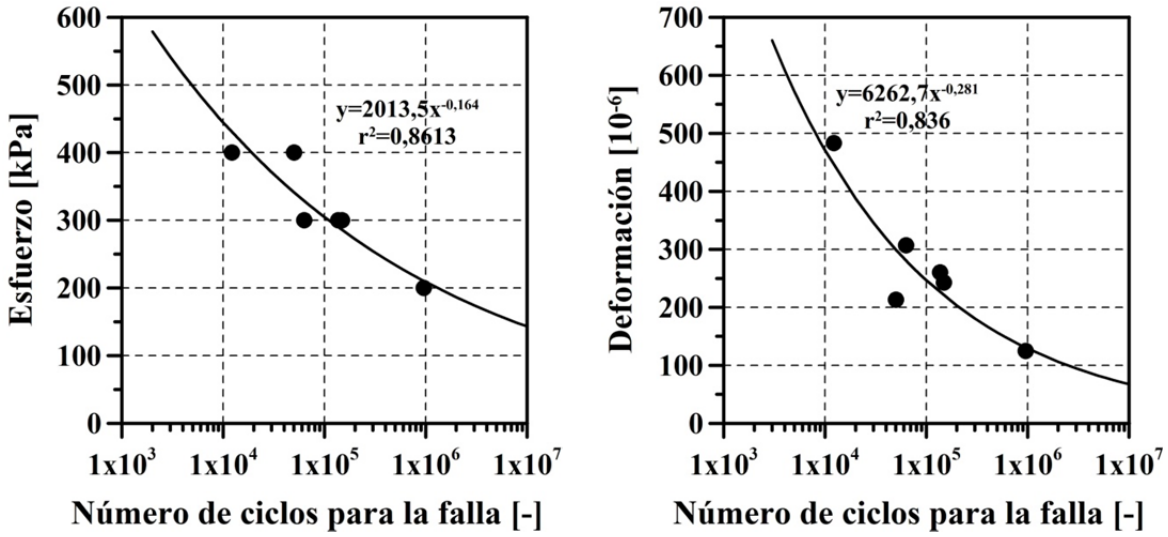


Figura 115. Fatiga MD12 con CA modificado con el producto II – STOA

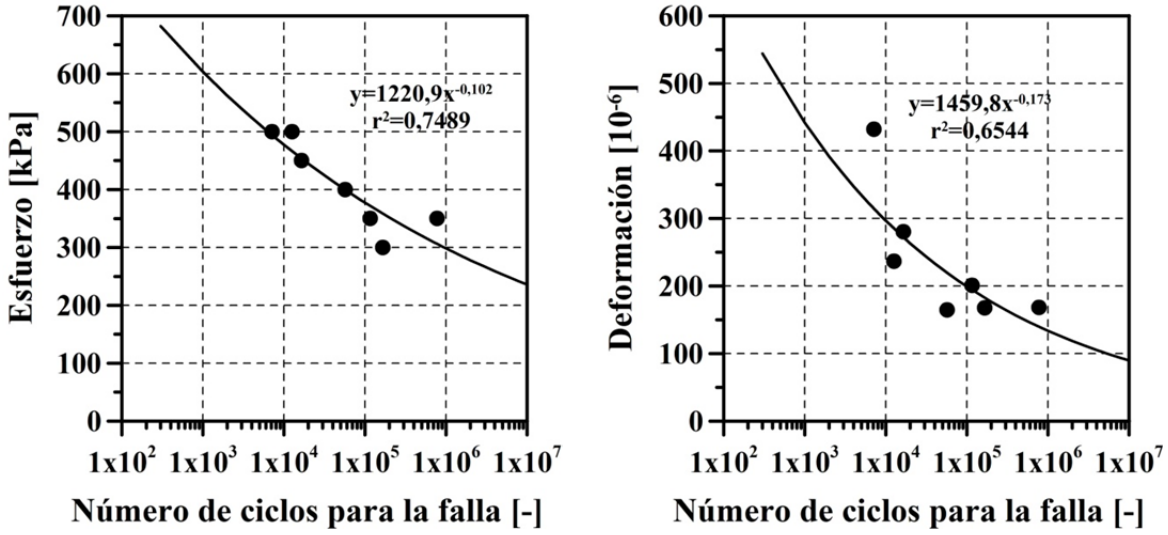


Figura 116. Fatiga MD12 con CA modificado con el producto II – LTOA

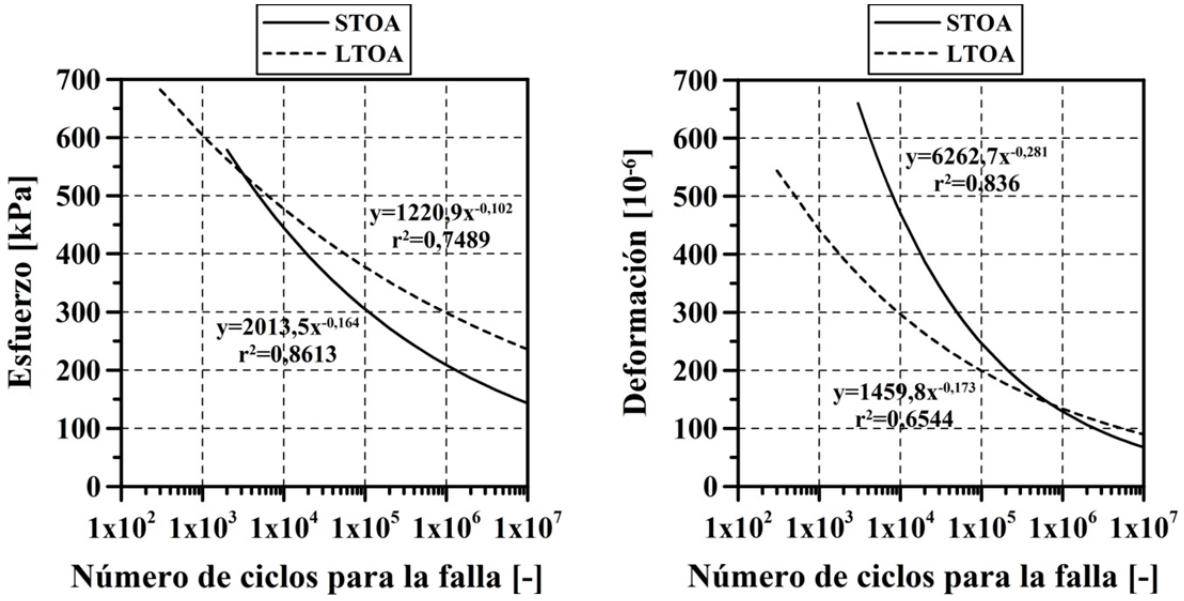


Figura 117. Fatiga MD12 con CA modificado con el producto II – STOA y LTOA

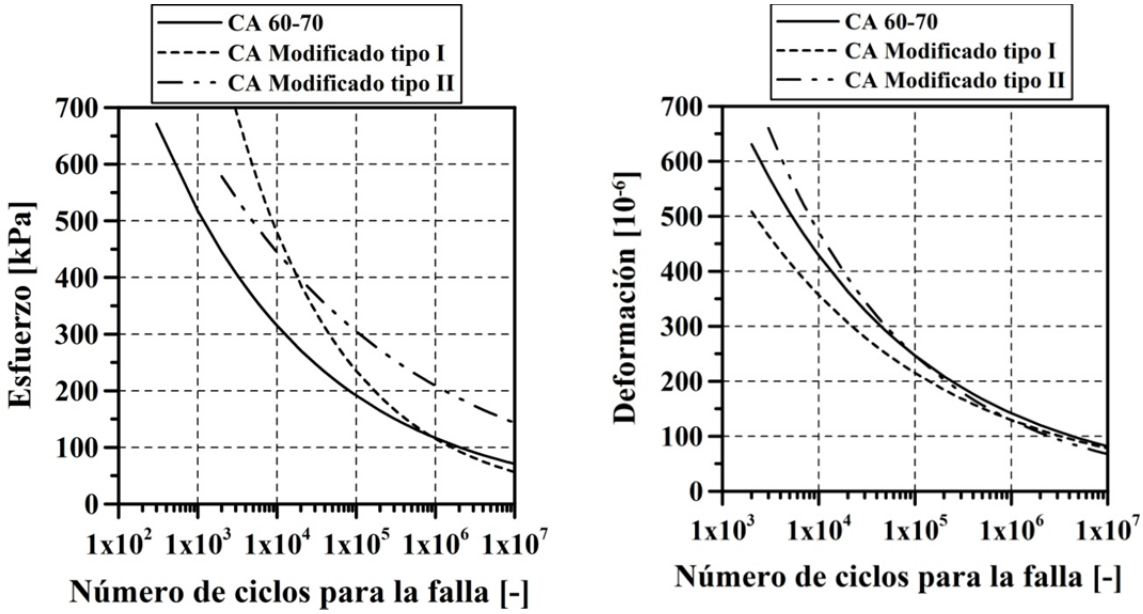


Figura 118. Fatiga MD12 fabricada con CA 60-70 y CA modificados con productos I y II – STOA

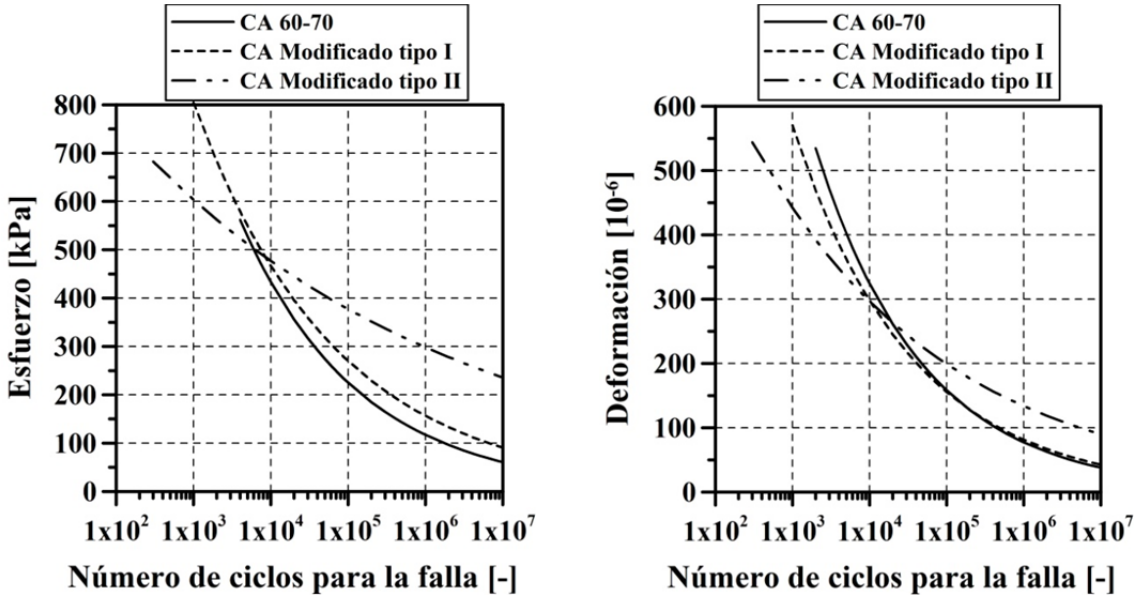


Figura 119. Fatiga MD12 fabricada con CA 60-70 y CA modificados con productos I y II – LTOA

Tabla 39. Valores de σ_6, ε_6 y b para las mezclas analizadas

Mezcla	Norma de ensayo	Ensayo a Esfuerzo Controlado			Cálculo de la deformación		
		σ_6	b	r^2	ε_6	b	r^2
		[kPa]	[-]	[-]	[10^{-6} m/m]	[-]	[-]
Mezcla MD12 - Asfalto Barrancabermeja 60-70 Envejecida en STOA	EN 12697-24	116,16	-0,216	0,911	133,94	-0,240	0,911
Mezcla MD12 - Asfalto Barrancabermeja 60-70 Envejecida en STOA + LTOA	EN 12697-24	117,16	-0,284	0,871	77,42	-0,311	0,632
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto I Envejecida en STOA	EN 12697-24	115,04	-0,310	0,902	129,54	-0,220	0,889
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto I Envejecida en STOA + LTOA	EN 12697-24	156,60	-0,237	0,933	81,32	-0,282	0,844
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto II Envejecida en STOA	EN 12697-24	208,89	-0,164	0,861	129,05	-0,281	0,836
Mezcla MD12 - Asfalto modificado con el producto II Envejecida en STOA + LTOA	EN 12697-24	298,32	-0,102	0,749	133,75	-0,173	0,654

Con base en los resultados reportados en la Figura 109 a la Figura 119, y la Tabla 39, se puede sugerir como valores recomendados de σ_6, ε_6 y b, los presentados en la Tabla 40.

Tabla 40. Valores de σ6, ε6 y b recomendados para mezclas tibias

Parámetro	Parámetro	Método de Ensayo	Valor
Mezcla MD12 fabricada con CA modificado tipo I	$\boldsymbol{\sigma_6}$	Esfuerzo controlado	110 kPa
	$\boldsymbol{\varepsilon_6}$	Deformación	$125 \cdot 10^{-6}$ m/m
	$\boldsymbol{b}$	Esfuerzo controlado Deformación	-0,31 -0,22
Mezcla MD12 fabricada con CA modificado tipo II	$\boldsymbol{\sigma_6}$	Esfuerzo controlado	200 kPa
	$\boldsymbol{\varepsilon_6}$	Deformación	$125 \cdot 10^{-6}$ m/m
	$\boldsymbol{b}$	Esfuerzo controlado Deformación	-0,16 -0,28

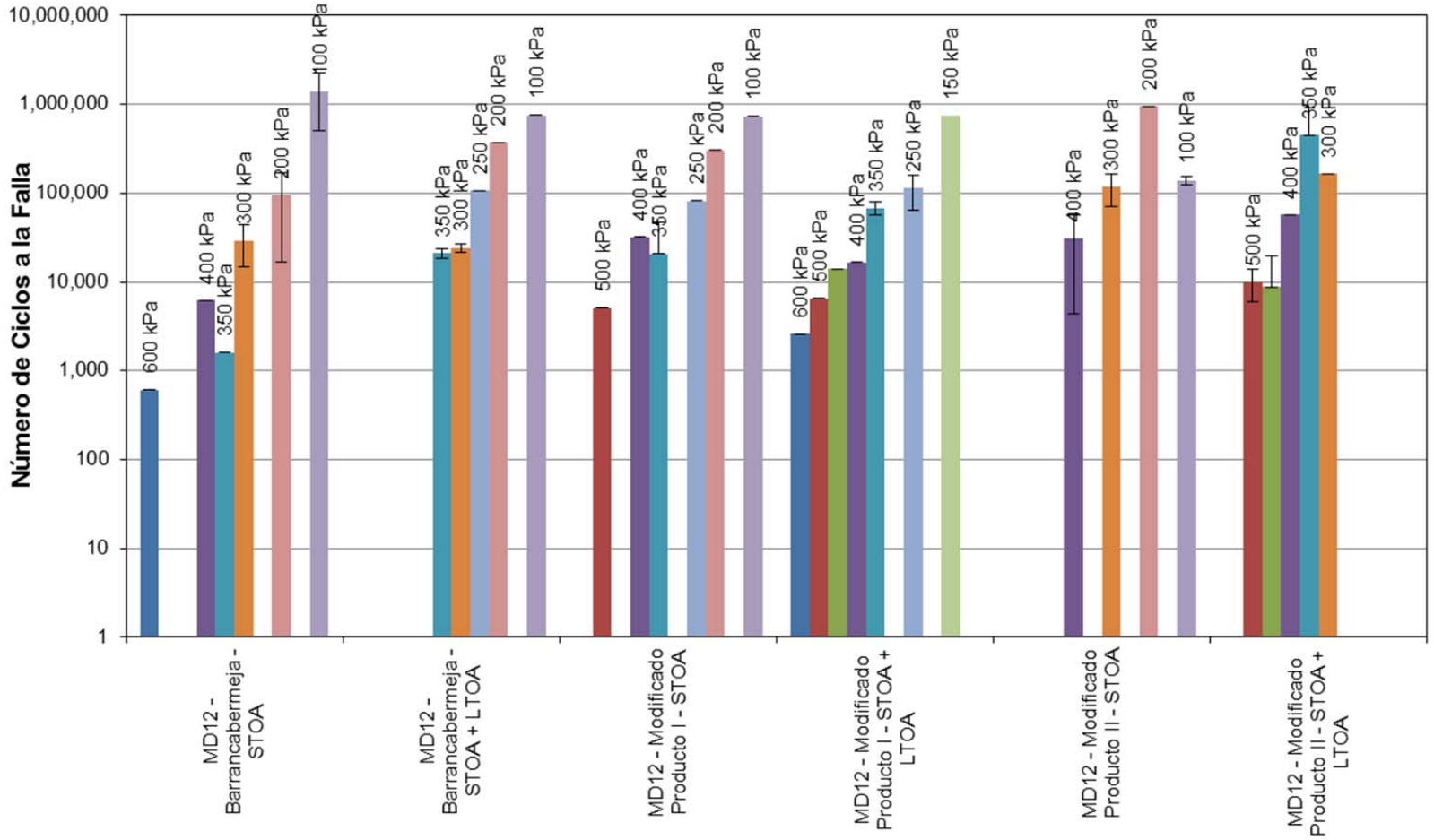


Figura 120. Comparación del Número de Ciclos a la Falla en función del esfuerzo máximo aplicado, para todas las mezclas a 2,5 Hz y 20° C

6. SIMULACIONES COMPUTACIONALES

En esta sección se reportan los resultados de las simulaciones computacionales realizadas con el fin de evaluar cómo influye la variabilidad de los parámetros mecánicos y dinámicos obtenidos de los ensayos de laboratorio ejecutados sobre las mezclas asfálticas tibias, en el dimensionamiento y la capacidad estructural de pavimentos flexibles. Para tal fin se realizaron simulaciones de diseño de pavimentos y cálculos computacionales de estados de deformación en la capa asfáltica y la subrasante de estructuras viales de tipo flexible.

Se ejecutaron simulaciones de dimensionamiento de estructuras de pavimento flexible empleando el método de diseño de la AASHTO (1993), variando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica propuestas en los documentos técnicos del Instituto Nacional de Vías – INVIAS (2008), el Instituto de Desarrollo Urbano – IDU (2001) y los resultados obtenidos en este proyecto (Contrato IDU-039-2012 “Caracterización Dinámica de Mezclas Asfálticas Tibias”). En este método de diseño, los espesores de cada una de las capas (h_i, en pulgadas) que componen la estructura del pavimento flexible se determinaron a través de la Ecuación 16 a la Ecuación 18. El subíndice $i = 1$ corresponde a la capa de concreto asfáltico, $i = 2$ a la capa granular no tratada de base, u el $i = 3$ a la capa granular no tratada de sub-base.

$$h_1 = \frac{SN_1}{a_1} \qquad \textbf{Ecuación 16}$$

$$h_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_1 \times m_2} \qquad \textbf{Ecuación 17}$$

$$h_3 = \frac{SN_3 - SN_2^*}{a_3 \times m_3} \qquad \textbf{Ecuación 18}$$

El factor SN_i son números estructurales de capa, y se determinan a través de la Ecuación 19. Los factores a_i y $m_i$se describen más adelante.

$$log(W_{18}) = Z_r \times S_o + 9{,}36 \times log(SN_i + 1) - 0{,}20 + \left[\frac{log\left(\frac{\Delta PSI}{4{,}2 - 1{,}5}\right)}{0{,}40 + \frac{1094}{(SN_i + 1)^{5{,}19}}}\right] + 2{,}32 \times log(M_r) - 8{,}07 \qquad \textbf{Ecuación 19}$$

Por otro lado, cuando se dimensionan estructuras de pavimentos flexibles por métodos mecanicistas, los dos principales parámetros que se determinan empleando simulación computacional son la acumulación de las deformaciones a tracción en la fibra inferior de la capa asfáltica ε_t (para controlar agrietamientos por fatiga por carga) y la deformación vertical que experimenta la subrasante ε_z (para controlar el fenómeno de acumulación de las deformaciones permanentes o ahuellamiento). En el presente documento técnico se ejecutaron simulaciones computacionales para determinar ambos parámetros, variando en dichas simulaciones las propiedades mecánicas bajo carga dinámica propuestas en los resultados obtenidos en este proyecto (Contrato IDU-039-2012 "Caracterización Dinámica de Mezclas Asfálticas Tibias"). Las variables ε_t y ε_z fueron estimadas empleando el programa analítico DEPAV (programa académico de versión libre y gratuita). Este programa calcula esfuerzos y deformaciones en cada una de las capas del pavimento a partir de la introducción al mismo de la carga, la presión en el área de contacto, y el área de contacto, las propiedades mecánicas de los materiales, y el espesor de cada capa. El comportamiento de los materiales se supone elástico-lineal empleando un sistema multicapa; por lo tanto, los parámetros de entrada son el módulo resiliente y la relación de Poisson. La ecuación constitutiva elástica-lineal se adopta debido a que es la utilizada en el mundo para el diseño de pavimentos, ya que ha demostrado ser confiable a la hora de predecir estados de esfuerzo-deformación en estas estructuras viales; adicionalmente ésta se utiliza debido a la simplicidad para la determinación de sus parámetros mecánicos, y a que en un pavimento las capas que lo conforman están sometidas a niveles de carga pequeños en comparación con su resistencia (Rondón y Reyes, 2011; Rondón *et al*., 2013). En las simulaciones, se empleó el eje de referencia simple de 82 kN, el cual fue utilizado en los diseños de las estructuras de pavimentos; adicionalmente, sobre estas estructuras, también se simuló un eje simple de 130 kN. Ambos ejes distribuyen la carga en cuatro llantas (dos llantas en cada lado del eje). La distancia entre llantas se supone igual a 31,5 cm y 37,5 cm para el eje simple de referencia de 82 kN y 130 kN, respectivamente. Cada llanta de los ejes de 82 kN y 130 kN transmite al pavimento 20,5 kN y 32,5 kN, las cuales a su vez las distribuyen sobre la capa de rodadura suponiendo un área de contacto circular de 21 cm y 25 cm de diámetro, generando presiones de contacto de 592 kPa y 662 kPa respectivamente.

6.1 Variables para el diseño y las simulaciones

Subrasante:

Esta variable se caracteriza a través del módulo resiliente M_r empleando la Ecuación 20. Los valores de CBR utilizados en las simulaciones fueron de 1%, 3% y 5%, los cuales corresponden a magnitudes de CBR de suelos de subrasante típicos reportados en la ciudad de Bogotá D.C.

$M_r = 1500 \times CBR$	[psi]	para *CBR*<10%	**Ecuación 20**
$M_r = 100 \times CBR$	[kg/cm^2]	para *CBR*<10%	

Para el caso de estructuras de pavimento flexible, cuando la subrasante experimente valores de CBR<5%, se hace necesario sustituir o reemplazar dicha subrasante por un espesor de material de conformación (recebo, rajón o similares). En las presentes simulaciones, cuando el CBR presentó magnitudes de 1% y 3% fue necesario sustituir y reemplazar 50 cm y 20 cm de subrasante por material de rajón seleccionado, respectivamente, para alcanzar un CBR equivalente de 5%. Lo anterior se determinó con base en el manual de diseño de pavimentos del Instituto de Desarrollo Urbano - IDU y la Universidad de Los Andes (2001).

Tránsito:

La variable tránsito empleada en las simulaciones corresponden a ejes equivalentes de 80 kN que circulan en el carril y periodo de diseño W_{18}, de $5 \cdot 10^5$, $3 \cdot 10^6$, $7{,}5 \cdot 10^6$, y $2 \cdot 10^7$.

Propiedades mecánicas de los materiales:

El parámetro mecánico con el cual se caracterizan los materiales es el módulo resiliente (en psi). Sin embargo, para el diseño y dimensionamiento del espesor de las capas del pavimento, estos parámetros se traducen a coeficientes estructurales de capas a_i, los cuales se determinan a través de la Ecuación 21 a la Ecuación 23. El coeficiente estructural corresponde a la capa de concreto asfáltico cuando el subíndice i es igual a uno ($i = 1$); a la capa granular no tratada de base cundo es igual a dos ($i = 2$), y a la capa granular no tratada de subbase cuando es igual a tres ($i = 3$).

$$a_1 = 0{,}184 \times ln(E_{CA}) - 1{,}9547 \quad \textbf{Ecuación 21}$$

$$a_2 = 0{,}249 \times log(E_{BG}) - 0{,}977 \quad \textbf{Ecuación 22}$$

$$a_3 = 0{,}227 \times log(E_{SBG}) - 0{,}839 \quad \textbf{Ecuación 23}$$

La temperatura media anual promedio $TMAP$ que se utilizó para el cálculo del módulo resiliente del concreto asfáltico (E_{CA}, en psi) para capa de rodadura fue de 15° C (para Bogotá D.C.) (Ver Tabla 41). Las variables E_{BG} y E_{SBG} son los módulos resilientes (en psi) de la base y la subbase granular, respectivamente, ε_6 es la amplitud de la deformación para que la mezcla asfáltica falle a 10^6 ciclos de carga en un ensayo de fatiga bajo esfuerzo controlado, y b es la pendiente de la ley de fatiga (ambos parámetros obtenidos en ensayos de laboratorio a 20° C).

Tabla 41. Parámetros resultado de este proyecto (Contrato IDU-039-2012 "Caracterización Dinámica de Mezclas Asfálticas Tibias") para capas de rodadura conformadas por una mezcla tipo MD12

$TMAP$ [° C]	a_1 [-]	E_{CA} [MPa]		ε_6 [10^{-6} m/m]	b [-]
		$f = 5\ Hz$	$f = 10\ Hz$		
MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja					
10	0,63	9000	10500		
15	0,58	6600	7900		
20	0,50	4500	5500	135	-0,26
25	0,44	3100	3900		
30	0,34	1800	2400		
MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I					
10	0,64	9400	11000		
15	0,58	6900	8200		
20	0,51	4700	5700	125	-0,22
25	0,44	3200	4000		
30	0,35	1900	2500		
MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II					
10	0,67	10800	12600		
15	0,61	7900	9400		
20	0,54	5400	6600	125	-0,28
25	0,47	3700	4600		
30	0,36	2100	2800		

Los coeficientes estructurales a_2 y a_3, así como los valores de E_{BG} y E_{SBG} de las capas granulares de base y subbase, respectivamente, que se utilizaron para el dimensionamiento de las estructuras de pavimento se presentan en la Tabla 42.

Tabla 42. Parámetros mecánicos para las simulaciones de las capas granulares de base y subbase.

Capa	Parámetro	W_{18}			
		5x10^5	**3x10^6**	**7,5x10^6**	**2x10^7**
Base	E_{BG} [psi]	28000	30000	30000	30000
	a_2 [-]	0,13	0,138	0,138	0,138
Subbase	E_{SBG} [psi]	15000	17000	18500	18500
	a_3 [-]	0,109	0,121	0,130	0,130

Para el cálculo de los estados de deformación al cual serán sometidas las estructuras dimensionadas, la relación de Poisson empleada en las simulaciones fue de 0,35 y 0,30 para las capas asfálticas y granulares no tratadas (base, subbase y material de conformación), respectivamente. Estos valores son los recomendados por IDU (2001) y Reyes (2003), y son ampliamente utilizados por los diseñadores que emplean métodos mecanicistas para el dimensionamiento de estructuras de pavimentos.

6.2 Otras variables de diseño para el caso de estructuras flexibles

- El Índice de Serviciabilidad ΔPSI que se empleó para las simulaciones fue de 2,2 para $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ y de 2,0 para $W_{18} = 3 \cdot 10^6$, $W_{18} = 7{,}5 \cdot 10^6$ y $W_{18} = 2 \cdot 10^7$.
- Los coeficientes de drenaje m_2 y $m_3$se suponen de 0,9 con base en las condiciones típicas de drenaje y la precipitación anual promedio de la ciudad de Bogotá D.C.
- La Confiabilidad R que se utilizó fue de 80% para $W_{18} = 5 \cdot 10^5$, de 90% para $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ y de 2,0 para $W_{18} = 3 \cdot 10^6$, $W_{18} = 7{,}5 \cdot 10^6$ y $W_{18} = 2 \cdot 10^7$. Para estos valores de R, el fráctil de la ley normal centrada Z_r es de -0,84, -1,28 y -1,65, respectivamente. El error normal combinado S_o se tomó de 0,45 para estructuras flexibles en construcción nueva.

6.3 Simulaciones y dimensiones de las estructuras diseñadas

En la Tabla 43 se presentan las estructuras diseñadas con base en las simulaciones ejecutadas y descritas con anterioridad. En esta tabla se presentan las estructuras dimensionadas manteniendo constante el espesor de la capa asfáltica, la capa de base granular y el material de conformación; es decir, se varía únicamente el espesor de la capa de subbase para el análisis. Adicionalmente, se presentan los valores de deformación a tracción en la fibra inferior de la capa asfáltica ε_t y la deformación vertical que experimenta la subrasante ε_z, determinados a través de la simulación computacional ejecutada en el programa DEPAV. En la Tabla 44 se presenta el mismo ejercicio de dimensionamiento y simulación computacional de las estructuras, pero en el diseño, se varía únicamente el espesor de la capa asfáltica para el análisis. En el ANEXO J al ANEXO M se presentan las imágenes del programa DEPAV, correspondiente a las simulaciones de las estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la subbase granular, y a las simulaciones de las estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la capa asfáltica, respectivamente. En ambas tablas, la frecuencia de carga empleada fue de 5 Hz (velocidad de circulación y de aplicación de carga aproximada de 35-45 km/h). De la misma forma, en la Tabla 45 y la Tabla 46 se presentan estructuras dimensionadas, en donde a diferencia de las

anteriores, la frecuencia de carga empleada fue de 10 Hz (velocidad de circulación y de aplicación de carga aproximada de 70-80 km/h).

Para el caso de la variable tránsito con $W_{18} = 2 \cdot 10^7$, la capa asfáltica se debe conformar por una capa de rodadura apoyada sobre una base asfáltica. En este caso, los valores de módulo resiliente de ambas capas se suponen iguales para la simulación ya que en el presente estudio solo se caracterizó una mezcla para capa de rodadura.

En estas tablas, h_{CA}, h_{BG}, h_{SBG}, y h_{MC} son el espesor de la capa asfáltica, base, subbase granular y material de conformación (rajón o material seleccionado), respectivamente.

Tabla 43. Resumen de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la sub base granular

Referencia	W_{18}	h_{CA} [cm]	h_{BG} [cm]	h_{SBG} [cm]	h_{MC} [cm]			ε_t [10^{-6}]		ε_z [10^{-6}]	
					***CBR*=1%**	***CBR*=3%**	***CBR*=5%**	**82 kN**	**130 kN**	**82 kN**	**130 kN**
MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja	$5x10^5$	6,0	15,0	19,0	50,0	20,0	0,0	288	361	846	1230
	$3x10^6$	9,0	20,0	23,0	50,0	20,0	0,0	202	265	504	758
	$7,5x10^6$	10,0	20,0	29,0	50,0	20,0	0,0	182	241	406	617
	$2x10^7$	15,0	20,0	25,0	50,0	20,0	0,0	124	169	314	481
MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I	$5x10^5$	6,0	15,0	19,0	50,0	20,0	0,0	282	355	840	1220
	$3x10^6$	9,0	20,0	22,0	50,0	20,0	0,0	198	260	512	769
	$7,5x10^6$	10,0	20,0	28,0	50,0	20,0	0,0	178	236	412	625
	$2x10^7$	15,0	20,0	23,0	50,0	20,0	0,0	121	166	321	492
MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo I	$5x10^5$	6,0	15,0	17,0	50,0	20,0	0,0	267	338	872	1270
	$3x10^6$	9,0	20,0	20,0	50,0	20,0	0,0	185	244	522	784
	$7,5x10^6$	10,0	20,0	26,0	50,0	20,0	0,0	165	220	418	635
	$2x10^7$	15,0	20,0	20,0	50,0	20,0	0,0	112	154	325	498

Tabla 44. Resumen de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la capa asfáltica

Referencia	W_{18}	h_{CA} [cm]	h_{BG} [cm]	h_{SBG} [cm]	h_{MC} [cm]			ε_t [10^{-6}]		ε_z [10^{-6}]	
					CBR=1%	*CBR*=3%	*CBR*=5%	82 kN	130 kN	82 kN	130 kN
MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja	$5x10^5$	5,0	15,0	25,0	50,0	20,0	0,0	310	376	772	1130
	$3x10^6$	7,5	20,0	31,0	50,0	20,0	0,0	229	292	464	700
	$7,5x10^6$	9,0	20,0	34,0	50,0	20,0	0,0	198	258	389	592
	$2x10^7$	12,0	20,0	39,0	50,0	20,0	0,0	152	204	292	449
MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I	$5x10^5$	5,0	15,0	25,0	50,0	20,0	0,0	304	371	769	1130
	$3x10^6$	7,3	20,0	31,0	50,0	20,0	0,0	228	291	467	705
	$7,5x10^6$	8,8	20,0	34,0	50,0	20,0	0,0	197	256	391	595
	$2x10^7$	11,8	20,0	39,0	50,0	20,0	0,0	150	202	293	451
MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo I	$5x10^5$	4,8	15,0	25,0	50,0	20,0	0,0	294	359	771	1130
	$3x10^6$	7,0	20,0	31,0	50,0	20,0	0,0	220	281	469	707
	$7,5x10^6$	8,5	20,0	34,0	50,0	20,0	0,0	188	245	391	595
	$2x10^7$	11,4	20,0	39,0	50,0	20,0	0,0	144	193	292	450

Tabla 45. Resumen de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la sub base granular

Referencia	W_{18}	h_{CA} [cm]	h_{BG} [cm]	h_{SBG} [cm]	h_{MC} [cm]		
					***CBR*=1%**	***CBR*=3%**	***CBR*=5%**
MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja	$5x10^5$	6,0	15,0	17,0	50,0	20,0	0,0
	$3x10^6$	9,0	20,0	20,0	50,0	20,0	0,0
	$7{,}5x10^6$	10,0	20,0	26,0	50,0	20,0	0,0
	$2x10^7$	15,0	20,0	20,0	50,0	20,0	0,0
MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I	$5x10^5$	6,0	15,0	17,0	50,0	20,0	0,0
	$3x10^6$	9,0	20,0	19,0	50,0	20,0	0,0
	$7{,}5x10^6$	10,0	20,0	25,0	50,0	20,0	0,0
	$2x10^7$	15,0	20,0	19,0	50,0	20,0	0,0
MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II	$5x10^5$	6,0	15,0	15,0	50,0	20,0	0,0
	$3x10^6$	9,0	20,0	17,0	50,0	20,0	0,0
	$7{,}5x10^6$	10,0	20,0	23,0	50,0	20,0	0,0
	$2x10^7$	15,0	20,0	16,0	50,0	20,0	0,0

Tabla 46. Resumen de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la capa asfáltica

Referencia	W_{18}	h_{CA} [cm]	h_{BG} [cm]	h_{SBG} [cm]	h_{MC} [cm]		
					***CBR*=1%**	***CBR*=3%**	***CBR*=5%**
MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja	$5x10^5$	4,7	15,0	25,0	50,0	20,0	0,0
	$3x10^6$	7,0	20,0	31,0	50,0	20,0	0,0
	$7{,}5x10^6$	8,4	20,0	34,0	50,0	20,0	0,0
	$2x10^7$	11,4	20,0	39,0	50,0	20,0	0,0
MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I	$5x10^5$	4,7	15,0	25,0	50,0	20,0	0,0
	$3x10^6$	7,0	20,0	31,0	50,0	20,0	0,0
	$7{,}5x10^6$	8,3	20,0	34,0	50,0	20,0	0,0
	$2x10^7$	11,3	20,0	39,0	50,0	20,0	0,0
MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II	$5x10^5$	4,5	15,0	25,0	50,0	20,0	0,0
	$3x10^6$	6,7	20,0	31,0	50,0	20,0	0,0
	$7{,}5x10^6$	8,0	20,0	34,0	50,0	20,0	0,0
	$2x10^7$	10,8	20,0	39,0	50,0	20,0	0,0

6.4 Conclusiones de la simulación

Los valores de módulo resiliente de las mezclas asfálticas tibias reportados en este proyecto (Contrato IDU-039-2012 "Caracterización Dinámica de Mezclas Asfálticas Tibias") para frecuencias de carga de 5 y 10 Hz (velocidad de aplicación de carga entre 35-45 km/h y 70-80 km/h como la que experimentan algunos tramos viales en la ciudad de Bogotá D.C.), son ligeramente superiores a aquellos reportados en el mismo estudio para la mezcla MD12 de referencia fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja. Cuando se emplean los valores recomendados de rigidez bajo carga cíclica de la mezcla MD12 fabricada con asfaltos modificados tipo I y II, los espesores de capas de las estructuras de pavimentos flexibles diseñadas son ligeramente inferiores en comparación a aquella dimensionada con una mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja. Para ambas frecuencias de carga, las disminuciones máximas de espesores que se reportan son de 5 cm en la capa de subbase granular cuando se mantienen constantes en las simulaciones los espesores de capa asfáltica y base granular, y de tan solo 6 mm de capa asfáltica cuando se mantienen constantes en las simulaciones los espesores de base y subbase granular. Lo anterior permite prever que al diseñar estructuras de pavimentos flexibles con capas de rodadura conformadas por alguna de las dos mezclas tibias analizadas en este proyecto (Contrato IDU-039-2012 "Caracterización Dinámica de Mezclas Asfálticas Tibias"), no se generarán cambios significativos en los espesores de capas con respecto a estructuras dimensionadas empleando capas de rodadura compuestas por mezclas asfálticas tradicionales del tipo MD12.

En Bogotá D.C. debido al clima, el modo de daño de agrietamiento por fatiga debido a cargas cíclicas se genera con mayor recurrencia en comparación con el fenómeno de ahuellamiento. En este sentido, el agrietamiento por fatiga es el mecanismo de daño que más se debe controlar a la hora de diseñar estructuras de pavimento flexible en la ciudad de Bogotá D.C. Se reporta en los resultados de las simulaciones, que a pesar que las estructuras de pavimento flexible diseñadas empleando mezcla tipo MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja como capa de rodadura tienden a ser ligeramente superiores en espesor, los estados de deformación a tracción en la fibra inferior de la capa asfáltica que experimentarán dichas estructuras es ligeramente superior a aquellos que experimentarán las estructuras que emplean capa de rodadura compuesta por las dos mezcla asfálticas modificadas analizadas (mezclas tibias fabricadas con asfalto modificado tipo I y II).

7. VALORACIÓN ECONÓMICA

7.1 Análisis de precios unitarios

En esta sección se presenta el análisis de precios unitarios para la fabricación de una mezcla asfáltica en caliente y una tibia. Para el análisis de precios unitarios se consideró el costo en el mercado del ligante modificado para mezclas asfálticas tibias ($ 1.150,00 antes de IVA), y el porcentaje de reducción de los costos del combustible requerido para la fabricación de la mezcla encontrado en la literatura (entre un 25% a un 35%).

De este análisis se estimó que, el valor antes de IVA por metro cúbico de la mezcla asfáltica en planta es aproximadamente de $ 336.731,02 para le mezcla en caliente y $ 353.468,98 para la mezcla tibia. Por lo anterior, se tiene un incremento en el costo por metro cúbico de la mezcla en planta, de 4,97%.

7.2 Estimación Costos estructuras de pavimento

Con base en los resultados de las simulaciones computacionales realizadas para evaluar la influencia de la variabilidad de los parámetros mecánicos y dinámicos obtenidos de los ensayos de laboratorio ejecutados sobre las mezclas asfálticas tibias respecto a los obtenidos para una mezcla asfáltica en caliente (numeral 6), y el análisis de precios unitarios para la mezcla asfáltica caliente y la tibia en planta (numeral 7.1), se procedió a estimar el costo de los materiales por kilómetro colocado, requeridos para la conformación de las estructuras de pavimento presentadas en la Tabla 43 y Tabla 44 (este análisis no incluye transporte de materiales, mano de obra, alquiler de equipos, y otros costos directos e indirectos).

Para el análisis se consideró un ancho de vía de 7,30 m, los espesores de capa presentados en la Tabla 43 y Tabla 44, los precios de materiales para la conformación de las diferentes capas que se presentan en la Tabla 47, y los factores de compactación presentados en la Tabla 48.

Tabla 47. Precios de materiales para la conformación de las diferentes capas de las estructuras de pavimento

Material de conformación	Valor
MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja	$ 339,564.80 / m³
MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I	$ 350,635.20 / m³
MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I	$ 350,635.20 / m³
Base granular clase A (BG_A) *	$ 58,892.31 / m³
Subbase granular clase A (SBG_A) *	$ 55,323.08 / m³
Rajón *	$ 22,307.69 / m³

* Estos precios corresponden a los de referencia de insumos junio de 2013 publicados por el Instituto en su página web, consultada por última vez el 26 de febrero de 2014, y antes de estar afectados por un 30% de AIU http://www.idu.gov.co/web/guest/contratacion_precios.

Tabla 48. Factores de compactación de las diferentes capas de las estructuras de pavimento

Material de conformación	Factor Compactación
MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja	20%
MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I	20%
MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I	20%
Base granular clase A (BG_A)	25%
Subbase granular clase A (SBG_A)	25%
Rajón	10%

En la Figura 121 a la Figura 123 se presenta una comparación del costo de los materiales para la conformación de las distintas capas de las estructuras de pavimento modeladas variando el espesor de la sub base granular, en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 1%, 2% y 3%, respectivamente; esta misma comparación se presenta en la Figura 124 a la Figura 126 para las estructuras resultado de la modelación variando el espesor de la capa asfáltica (en función del número de ejes equivalentes y para CBR 1%, 2% y 3%, respectivamente).

En la Figura 127 a la Figura 129 se hace una comparación de la variación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas variando el espesor de la sub base granular, en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 1%, 2% y 3%, respectivamente; esta misma comparación se presenta en la Figura 130 a la Figura 132 para las estructuras resultado de la modelación variando el espesor de la capa asfáltica (en función del número de ejes equivalentes y para CBR 1%, 2% y 3%, respectivamente).

De este análisis se puede concluir que, para todas las estructuras modeladas en las que se emplea la mezcla asfáltica tibia elaborada con el ligante modificado tipo II presentan menor costo por kilómetro respecto las estructuras con la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja (1,57% menor para un número de ejes equivalentes de $2 \cdot 10^7$ y una subrasante con CBR de 3%, variando el espesor de la sub base granular; 1,66% menor para un número de ejes equivalentes de $3 \cdot 10^6$ y una subrasante con CBR de 3%, variando el espesor de la capa asfáltica); caso contrario se presenta con todas las estructuras modeladas en las que se emplea la mezcla asfáltica tibia elaborada con el ligante modificado tipo I, ya que presentan mayor costo por kilómetro respecto las estructuras con la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja (1,64% mayor para un número de ejes equivalentes de $5 \cdot 10^5$ y una subrasante con CBR de 3%, variando el espesor de la sub base granular; 1,36% menor para un número de ejes equivalentes de $3 \cdot 10^6$ y una subrasante con CBR de 3%, variando el espesor de la capa asfáltica).

Es oportuno aclarar que las variaciones en costos al implementar las mezclas asfálticas tibias analizadas en este proyecto no son significantes (máximo 1,66%), y que el gran beneficio que se obtiene en la implementación de este tipo de mezcla asfáltica es la mitigación de los efectos adversos sobre la salud humana y el impacto al medio ambiente.

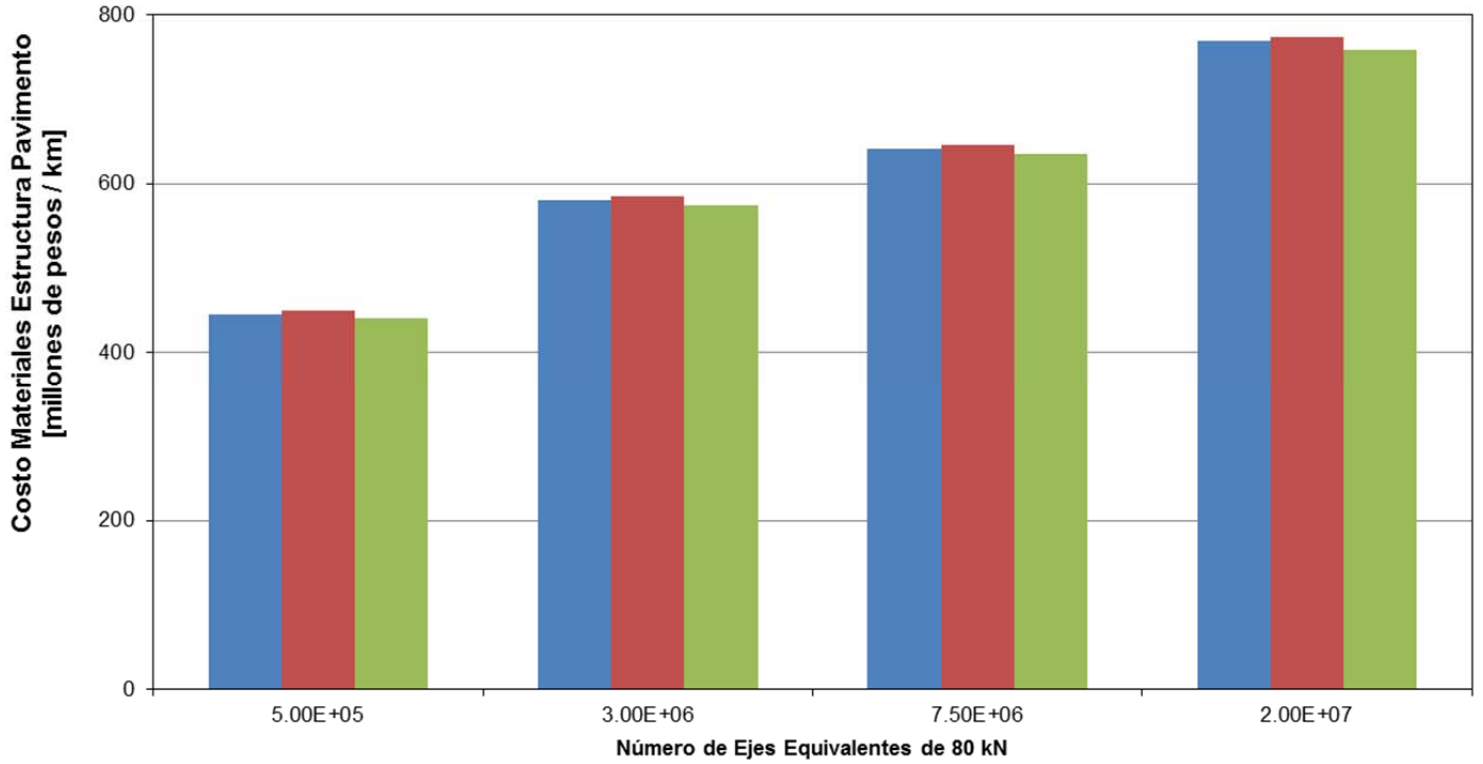


Figura 121. Comparación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la sub base granular), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 1%
(azul 'MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja', rojo 'MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I', verde 'MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II')

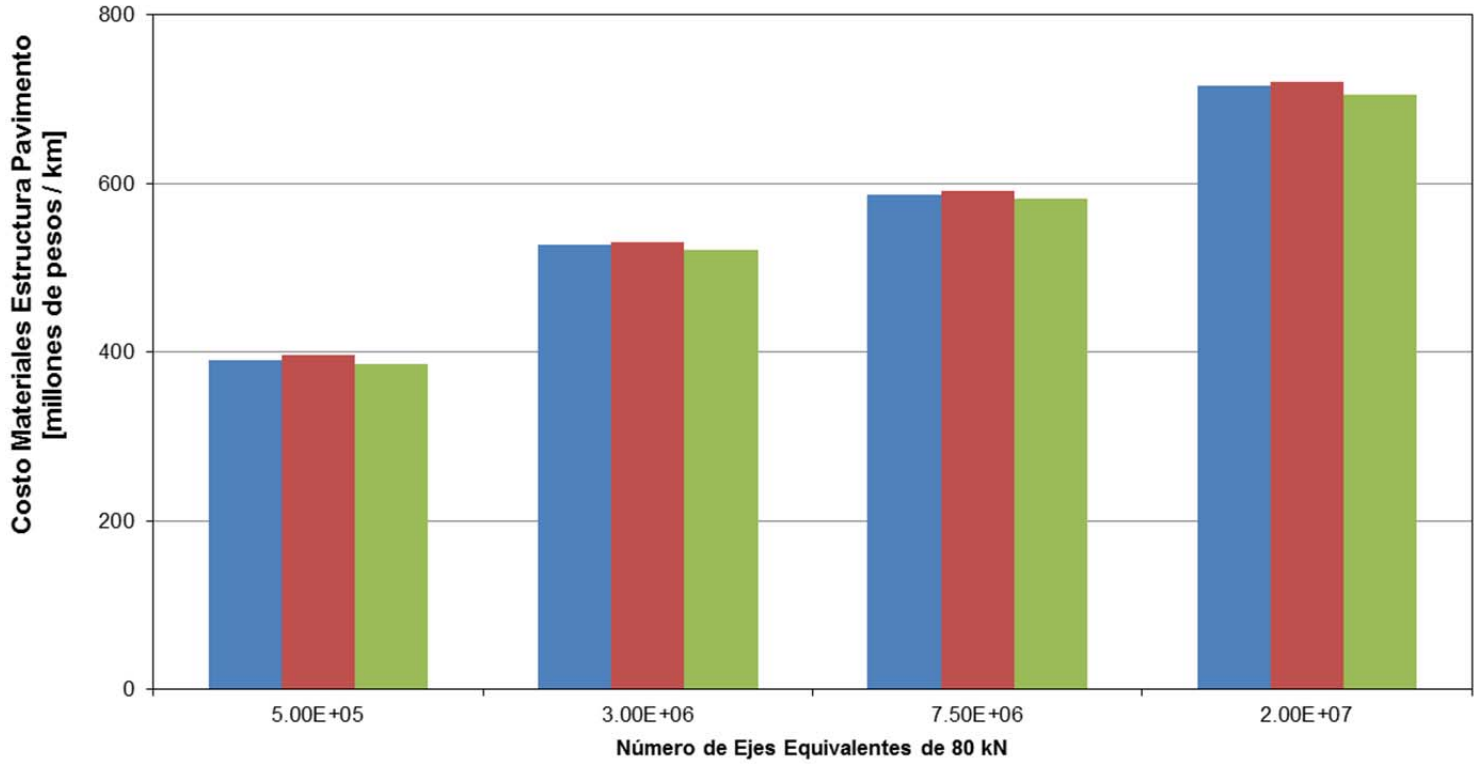


Figura 122. Comparación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la sub base granular), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 2%
(azul 'MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja', rojo 'MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I', verde 'MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II')

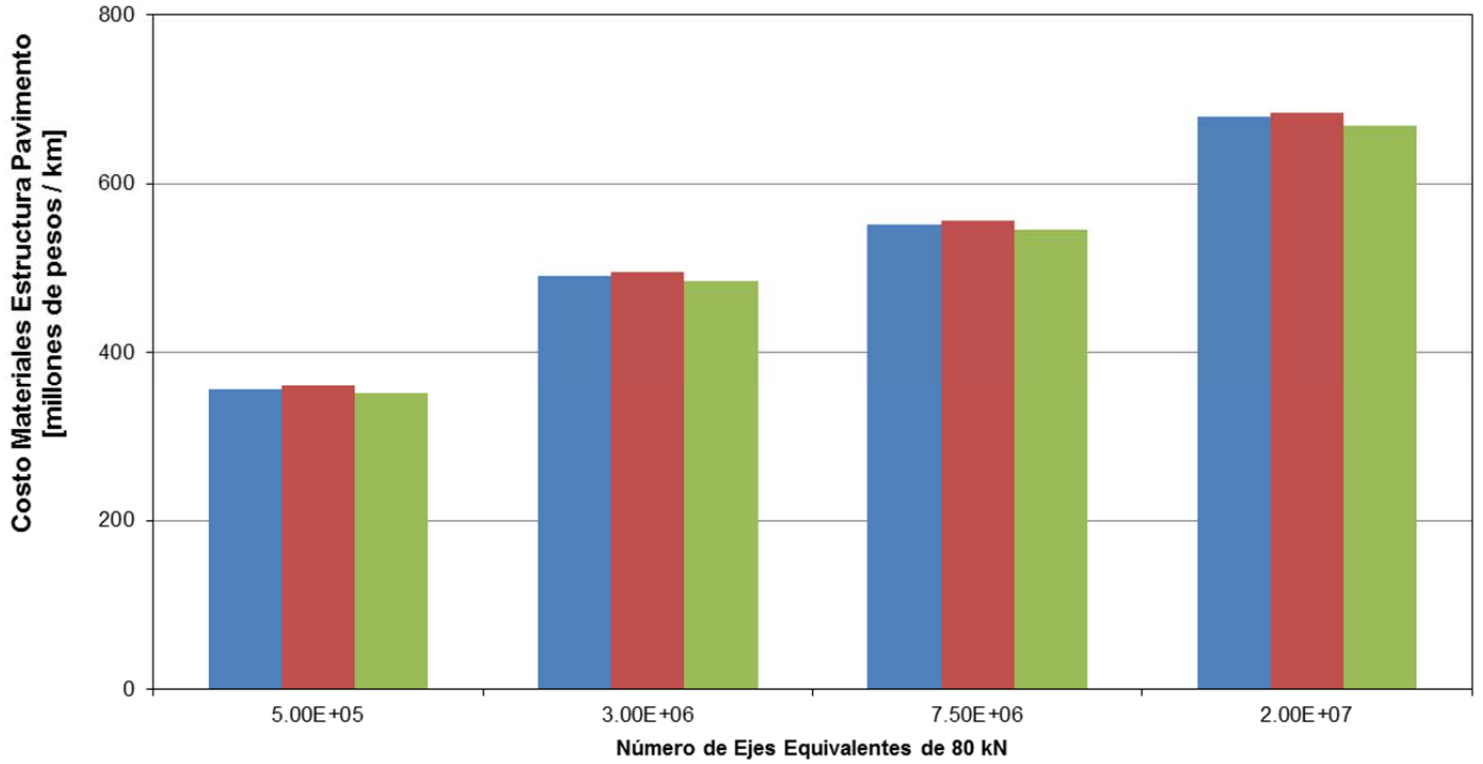


Figura 123. Comparación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la sub base granular), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 3%
(azul 'MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja', rojo 'MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I', verde 'MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II')

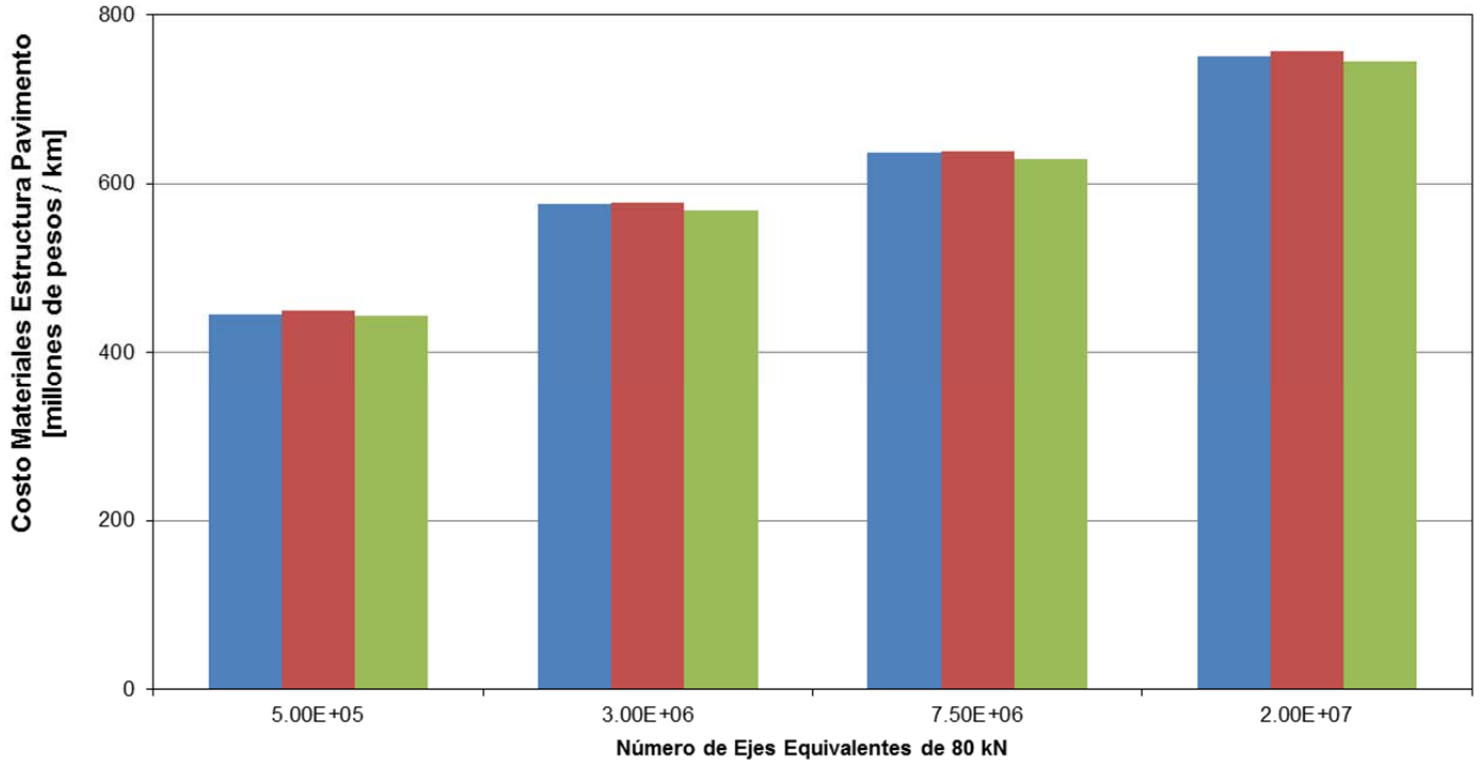


Figura 124. Comparación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la capa asfáltica), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 1%
(azul 'MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja', rojo 'MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I', verde 'MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II')

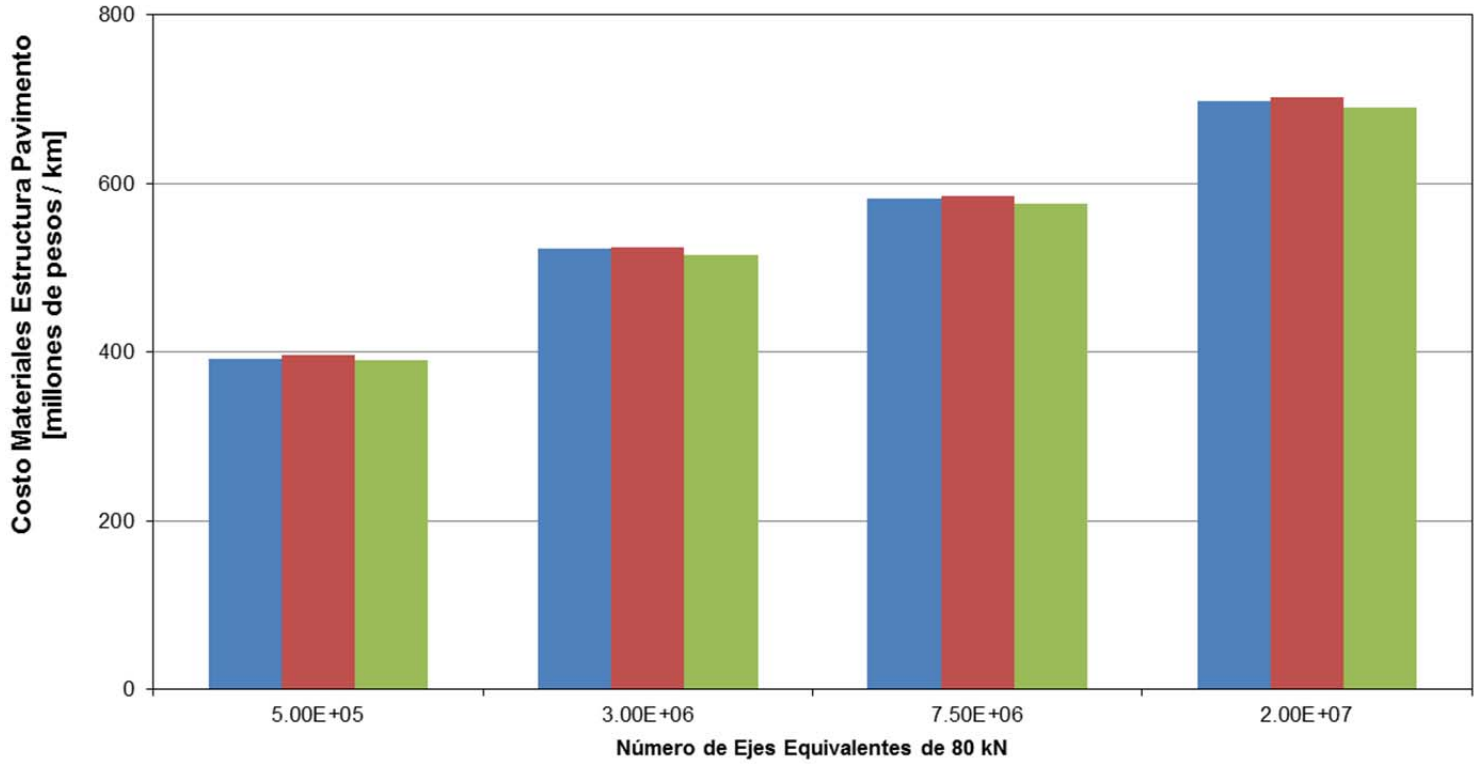


Figura 125. Comparación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la capa asfáltica), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 2%
(azul 'MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja', rojo 'MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I', verde 'MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II')

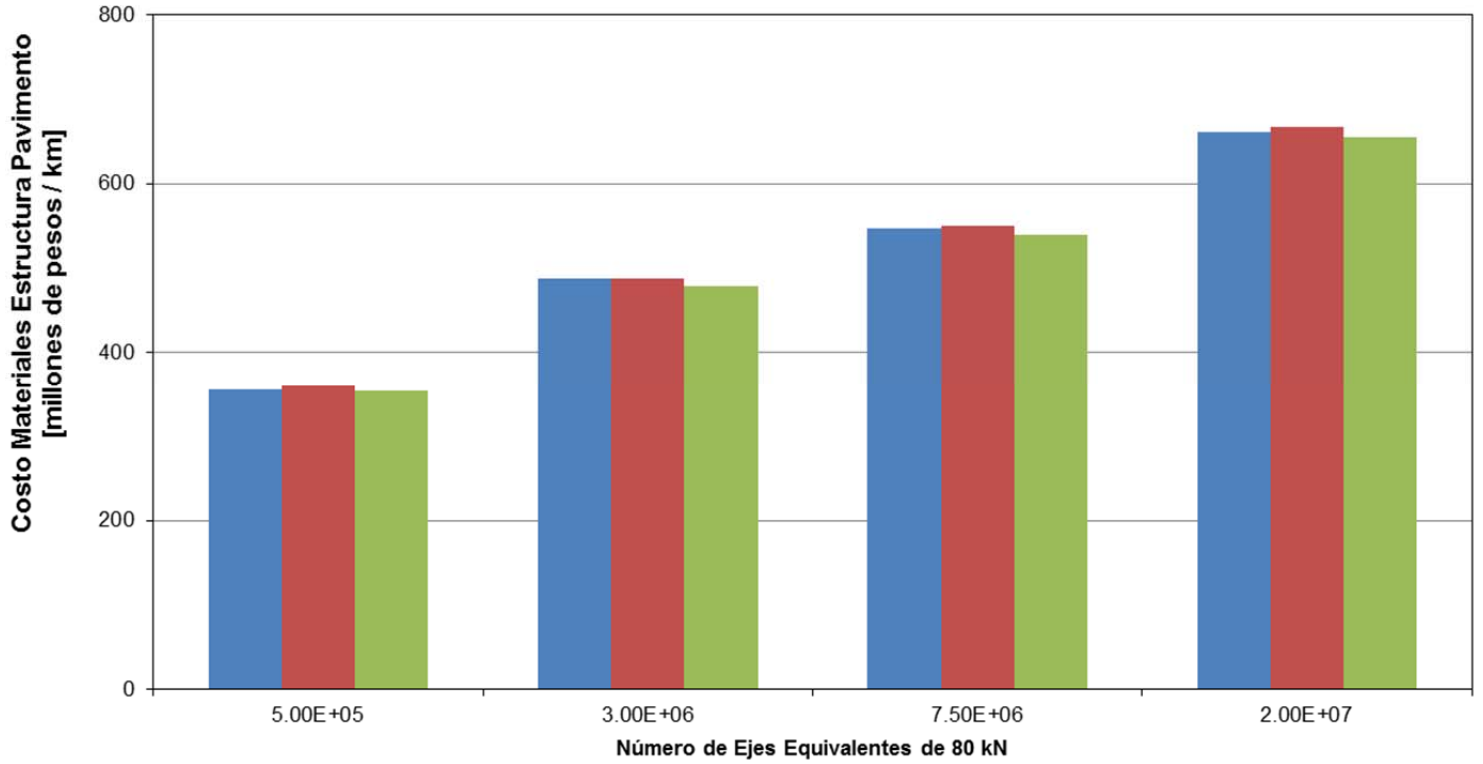


Figura 126. Comparación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la capa asfáltica), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 3%
(azul 'MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja', rojo 'MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I', verde 'MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II')

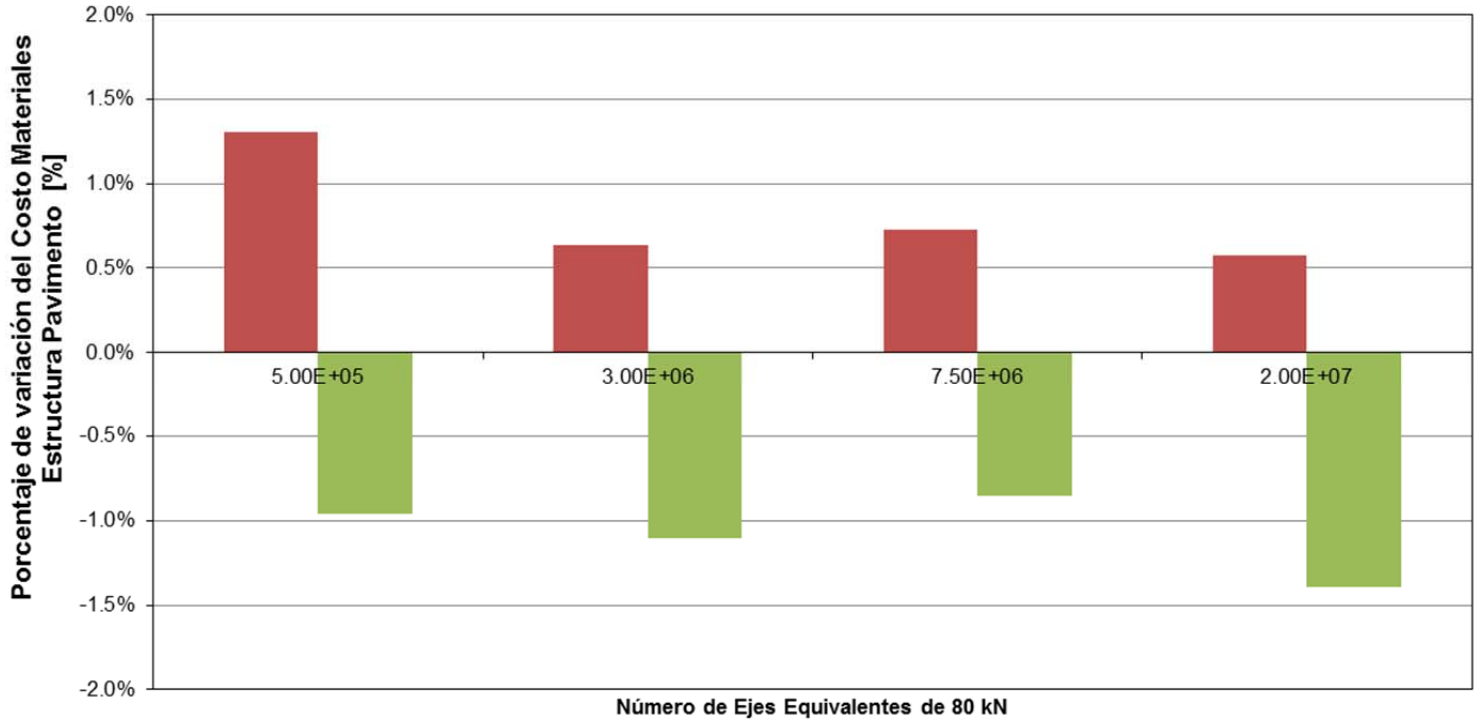


Figura 127. Comparación de la variación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la sub base granular), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 1%
(rojo 'MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I', verde 'MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II'; las dos anteriores respecto a la 'MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja')

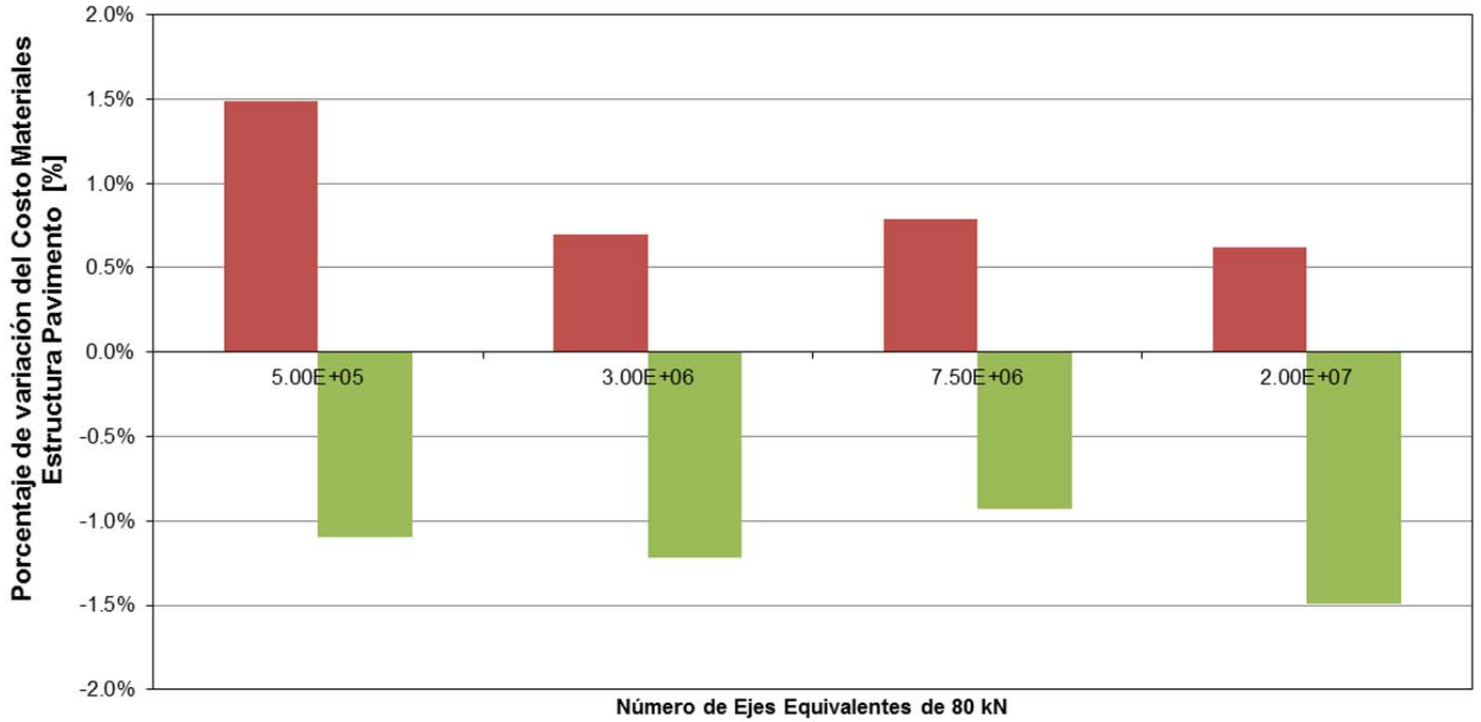


Figura 128. Comparación de la variación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la sub base granular), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 2%
(rojo 'MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I', verde 'MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II'; las dos anteriores respecto a la 'MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja')

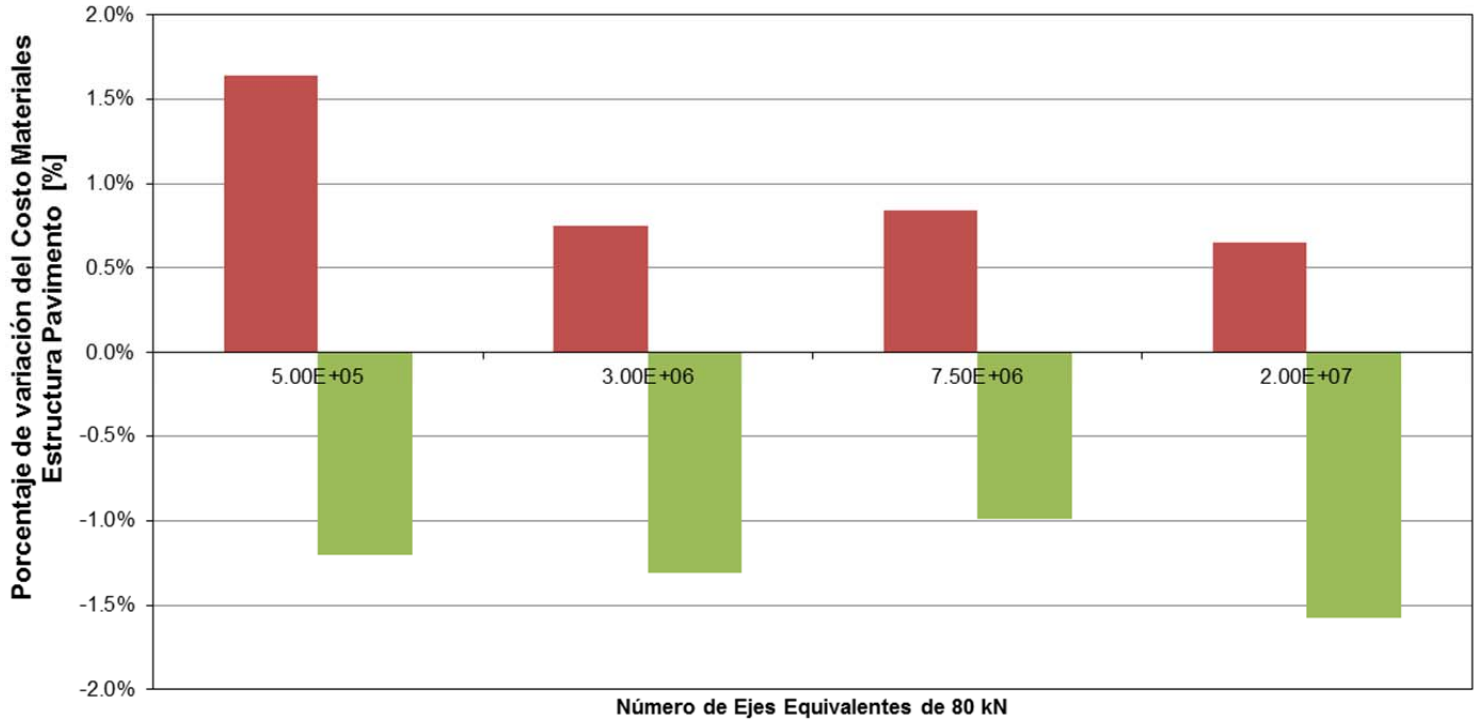


Figura 129. Comparación de la variación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la sub base granular), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 3%
(rojo 'MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I', verde 'MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II'; las dos anteriores respecto a la 'MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja')

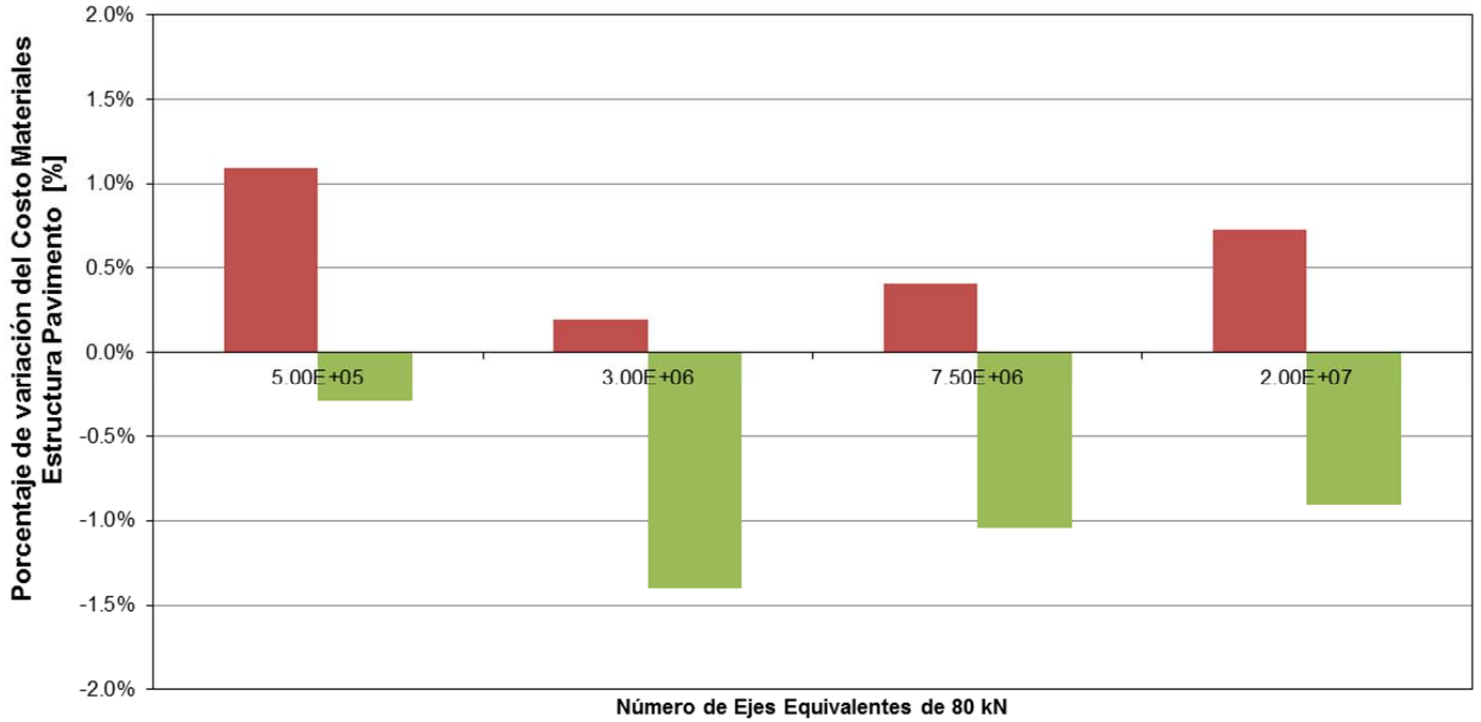


Figura 130. Comparación de la variación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la capa asfáltica), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 1%
(rojo 'MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I', verde 'MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II'; las dos anteriores respecto a la 'MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja')

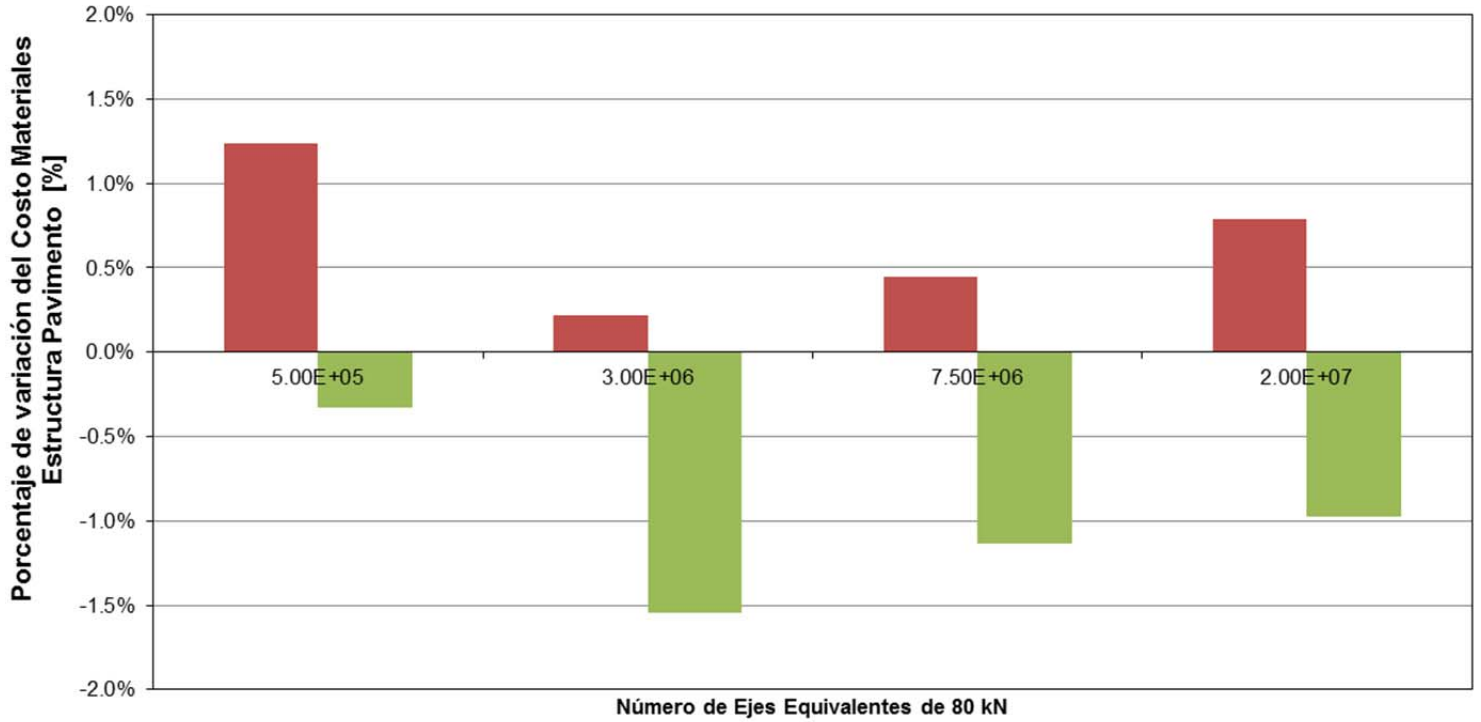


Figura 131. Comparación de la variación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la capa asfáltica), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 2%
(rojo 'MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I', verde 'MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II'; las dos anteriores respecto a la 'MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja')

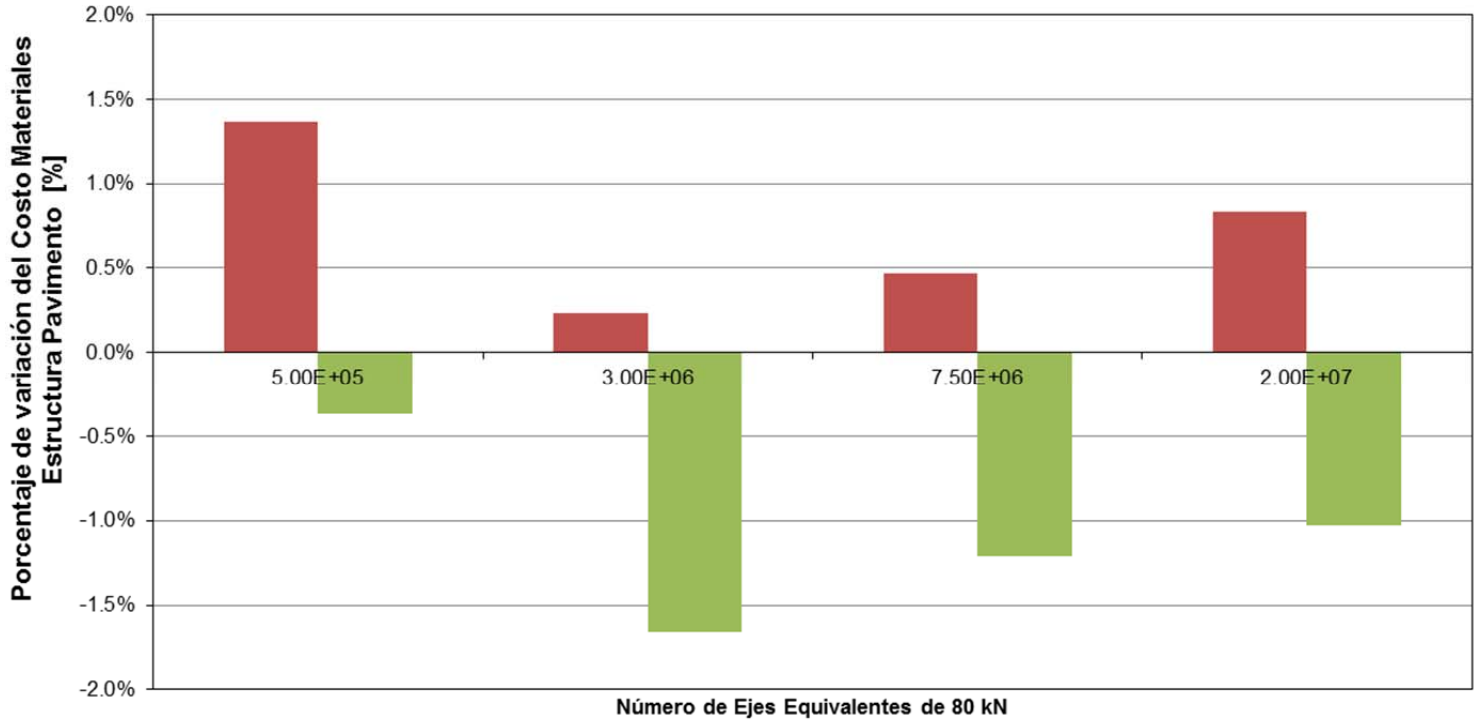


Figura 132. Comparación de la variación del costo de materiales para las estructuras de pavimento dimensionadas (variando el espesor de la capa asfáltica), en función del número de ejes equivalentes y para una subrasante con CBR 3%
(rojo 'MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I', verde 'MD12 fabricado con cemento asfáltico modificado tipo II'; las dos anteriores respecto a la 'MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja')

8. ELABORACIÓN DE NORMATIVA

Como uno de los objetivos del contrato de Consultoría se tenía la elaboración de la Especificación técnica de Mezclas asfálticas tibias elaboradas con asfalto modificado con aditivos de tipo químico. Esta especificación se elaboró con base en el análisis y las conclusiones de los resultados obtenidos en la etapa de caracterización de materiales y en la elaboración, caracterización, y evaluación dinámica de las mezclas asfálticas tibias estudiadas, y se encuentra en el ANEXO P.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Respecto a la metodología y diseño del experimento:

- El material granular obtenido para la elaboración de las mezclas asfálticas es, en su mayoría, procedente de fuentes ubicadas en el departamento del Tolima, y resulta representativo al material que actualmente se utiliza en la ciudad de Bogotá D.C para la elaboración de mezclas asfálticas.

- Teniendo en cuenta la disponibilidad en el mercado colombiano de los productos modificadores para la elaboración de mezclas asfálticas tibias y en acuerdo con el IDU, se trabajará con ligantes asfálticos para mezclas tibias ya modificados y no se procederá a la modificación de los mismos, tal como aparece en la metodología inicialmente planteada.

- Vaitkus (2009) reporta que las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas tibias son menores en comparación con las de mezclas asfálticas en caliente, lo cual depende del tipo de aditivo utilizado o del método de fabricación, y lo que también está relacionado a la insuficiente investigación en este tipo de mezcla asfáltica y su poco uso. Por otro lado, y debido a que la finalidad del presente estudio es el de determinar la condición de las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas tibias obtenidas con los materiales regionales (esto es, ligantes y agregados pétreos), se considera como objetivo primordial de este estudio el de determinar la validez de esta afirmación para el caso regional.

Respecto a la caracterización de materiales:

- Los agregados pétreos que se va a utilizar en la ejecución del proyecto se encuentran dentro del rango de valores admisibles de acuerdo a las Especificaciones IDU.

- El ligante asfáltico Barrancabermeja 60-70 a utilizar en la elaboración de la mezcla asfálticas de referencia MD-12, cumple con lo descrito en la Especificación Técnica “Cemento Asfáltico” sección 200-11 del Instituto de Desarrollo Urbano.

- Para el caso del ligante asfáltico modificado con el producto II se presentaron inconvenientes durante la realización del Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento para lograr el envejecimiento a corto plazo RTFO, debido a que la consistencia del asfalto hizo que éste se derramara durante la ejecución del ensayo. Por decisión tomada en conjunto entre la Universidad y el IDU, y después de

haber realizado cuatro ensayos, se determinó no realizar más ensayos para encontrar el valor de pérdida de masa para este ligante.

Respecto al análisis de resultados:

- De acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio sobre el agregado pétreo utilizado en esta investigación, el cual también es ampliamente usado en la fabricación de mezclas asfálticas en Bogotá, se concluye que éste es apto para la fabricación de mezclas de concreto asfáltico para capas de base asfáltica e intermedia, para cualquier nivel de tráfico (T0-T5), y para capas de rodadura con tráfico T0-T3, de acuerdo a las especificaciones técnicas IDU-ET-2011. El agregado pétreo grueso empleado para la fabricación de las mezclas asfálticas del presente estudio es de buena resistencia al desgaste por impacto y por abrasión, así como al fracturamiento de partículas. Así mismo se observa, que dicho agregado pétreo es de alta resistencia a desintegrarse cuando dentro de sus poros, el agua expande por congelamiento (ensayo de sanidad en sulfato de sodio) y presenta partículas con formas ideales (redondeadas con caras angulares y fracturadas con muy poco contenido de partículas alargadas y aplanadas) para desarrollar un buen esqueleto granular que ayude en procesos de compactación de mezclas asfálticas, así como a resistir cargas estáticas, dinámicas o de impacto. Adicionalmente se observa que las partículas finas no presentan contenido de arcilla, materia orgánica en exceso o de polvo que generen disminución de adherencia entre el agregado pétreo y el asfalto, y disminución de resistencia y durabilidad de la mezcla por exceso de finos o contaminantes.

- De acuerdo a los resultados de los ensayos de caracterización típicos que se ejecutaron sobre el cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de la refinería de la Empresa Colombiana de Petróleos – ECOPETROL, en Barrancabermeja, se concluye que dicho asfalto cumple con los requisitos mínimos de calidad que exigen las especificaciones técnicas IDU-ET-2011 (2011a) para ser empleado como ligante en la fabricación de mezclas de concreto asfáltico.

- De acuerdo a los resultados de los ensayos de caracterización reológica que se ejecutaron sobre el cemento asfáltico 60-70 proveniente de Barrancabermeja y de los dos asfaltos modificados con los productos I y II, se concluye que los asfaltos modificados con productos químicos utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas tibias sin ser sometidos a procesos de envejecimiento presentan mayor rigidez (193,84% respecto a G^* y 219,15% respecto a $|G^*|/\sin\delta$ con el producto I, y 367,26% respecto a G^* y 436,17% respecto a $|G^*|/\sin\delta$ con el producto II), y mayor viscosidad (172,34% con el producto I, y 310,64% con el producto II) que el cemento

asfaltico 60-70 sin modificar; siendo estos valores mayores para el ligante modificado con el producto II.

- Con base en los resultados de los ensayos de caracterización reológica que se ejecutaron sobre el cemento asfáltico 60-70 proveniente de Barrancabermeja y los dos asfaltos modificados con los productos I y II, se concluye que el asfalto que presenta mayor rigidez antes de ser sometido a procesos de envejecimiento es el modificado con el producto II y que cuando el CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja envejece a largo plazo (RTFOT + PAV), experimenta una mayor rigidez que los asfaltos modificados. Lo anterior induce a pensar que en los procesos de fabricación de mezclas de concreto asfáltico en plantas de asfalto, extensión y compactación en obra, así como durante la vida útil en servicio, las mezclas fabricadas con el asfalto CA 60-70 de Barrancabermeja, experimentarán un incremento en rigidez mayor debido a que este ligante es más susceptible al fenómeno de envejecimiento que los ligantes modificados. En este punto es importante mencionar que se debe hacer un control más estricto en las plantas de asfalto de los procesos de almacenamiento, calentamiento y sobrecalentamiento del CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja, ya que el incremento en rigidez reportado anteriormente ocurre por envejecimiento u oxidación, y se debe recordar que un asfalto envejecido genera, disminución en la adherencia entre el agregado pétreo y el ligante (aumentado la probabilidad de incremento del fenómeno de *stripping*), cambio del comportamiento dúctil a frágil del ligante y la mezcla asfáltica acompañado de un incremento en su rigidez y viscosidad. La oxidación de asfaltos es considerada generalmente como el principal factor que contribuye al endurecimiento y fragilización del mismo. Endurecimiento excesivo del cemento asfáltico es indeseable porque a menudo lleva a problemas asociados con la fragilidad y agrietamiento de la capa asfáltica en el pavimento, especialmente a bajas temperaturas de servicio. El asfalto que experimentó mayor resistencia a cambiar sus propiedades reológicas y a envejecer fue el modificado tipo I.

- De acuerdo con los resultados del grado de desempeño a altas temperaturas de servicio de los ligantes, se encontró que los asfaltos modificados para la fabricación de mezclas asfálticas tibias incrementaron su máxima temperatura de servicio respecto al asfalto convencional 60-70 proveniente de Barrancabermeja (sin modificar), siendo los modificados los que evidencian una mayor resistencia a las deformaciones plásticas y al agrietamiento a temperaturas intermedias de servicio. Para el caso de la ciudad de Bogotá D.C. (temperatura media anual promedio entre 13° C y 15° C y mínima de 5° C), los resultados del ensayo de caracterización reológica a temperaturas intermedias de servicio reportan un mejor comportamiento y resistencia al agrietamiento y al envejecimiento cuando se emplea el cemento asfáltico modificado tipo I. El asfalto convencional de Barrancabermeja y el

modificado tipo II no garantizan un buen desempeño en un clima como el de Bogotá D.C.

- Con base en los resultados obtenidos de los ensayos de caracterización física y reológica se concluye que, el asfalto modificado tipo II fue el que experimentó mayor rigidez. Lo anterior hace prever la utilización de este tipo de asfalto en vías donde se requiera fabricar mezclas más rígidas que las convencionales (p. ej. mezclas de alto módulo), que experimenten mayor resistencia a las deformaciones permanentes (ahuellamiento) y que soporten tráfico pesado combinado con alto número de circulación de dicho tráfico.

- Las temperaturas de mezclado y compactación para las mezclas asfálticas tibias MD12 con ligantes modificados fueron de 130° y 120° C respectivamente, teniendo en cuenta que el criterio establecido por la especificación ASTM D6925 para la obtención de estas temperaturas no es confiable para el caso de ligantes modificados, y que al fabricar y compactar las mezclas a dichas temperaturas, el material experimentó, en el ensayo Marshall, un comportamiento similar al de la mezcla en caliente de referencia, cumpliendo los criterios establecidos por la metodología Marshall y la especificación IDU (2011b) para diseñar mezclas asfálticas tipo MD12. Adicionalmente, estas temperaturas fueron escogidas teniendo en cuenta que, respecto a mezclas en caliente, las mezclas tibias deben ser fabricadas entre 100° C y 140° C. En plantas de asfalto, para determinar la temperatura optima de mezcla del asfalto convencional analizado (CA 60-70 producidos en la refinería de ECOPETROL en Barrancabermeja) con los agregados pétreos, se puede emplear el criterio tradicional de escogencia y la norma ASTM D6925, donde se reporta que la viscosidad requerida para obtener la temperatura de fabricación de mezclas asfálticas en caliente del tipo denso debe ser de 85±15 SSF (170 cP); sin embargo, para el caso de mezclas fabricadas con los cementos asfálticos modificados tipo I y II analizados en esta investigación, esta temperatura debe ser reportada por el proveedor del asfalto modificado, teniéndose cuidado en no oxidar y envejecer el ligante prematuramente, no degradar u alterar la resistencia al fracturamiento o al desgaste del agregado pétreo, y no impactar ostensiblemente el medio ambiente. Adicionalmente, las menores temperaturas de fabricación pueden generar que el secado del agregado pétreo no sea suficiente, produciendo pérdida de adherencia en la mezcla, desarrollando en algunos casos la necesidad de utilizar aditivos especiales para mejorar dicha adherencia (Vaitkus *et al*., 2009; Xiao *et al*., 2010). Lo anterior hace prever la necesidad en las plantas de asfalto de realizar un mayor control sobre este tipo de mezclas (tibias) a la hora de secar el agregado pétreo o desarrollar procedimientos que ayuden a que no se presente esta eventualidad (por ejemplo, exponiéndolo a un mayor período de secado). El tambor secador en las plantas de asfalto debe disponerse de tal forma que permita el secado correcto de los

agregados, así como su calentamiento a la temperatura adecuada para la fabricación de la mezcla asfáltica.

- De acuerdo a los resultados de los ensayos de resistencia de una mezcla asfáltica al daño por humedad, se puede concluir que tanto la mezcla asfáltica en caliente de referencia como las mezclas asfálticas tibias cumplen con los valores que actualmente están estandarizados por la especificación IDU (Instituto de desarrollo urbano IDU, 2011a). Adicionalmente se reporta, que las mezclas MD12 que fueron fabricadas con los asfaltos modificados tipo I y II experimentaron mayor resistencia al daño por humedad y a las deformaciones plásticas (ahuellamiento), que aquellas fabricadas con el ligante sin modificar (CA 60-70 convencional de Barrancabermeja). Con base en dichos resultados, se podría sugerir en las especificaciones, incrementar los valores de TSR de 80% a 85%, y disminuir el límite máximo de velocidad de deformación en el ensayo de resistencia a la deformación plástica mediante la pista de laboratorio (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007x) de 15 $\mu m/min$ a 10 $\mu m/min$, para el caso de las mezclas MD12 fabricadas con los asfaltos modificados tipo I y II. Se recomienda, para futuras investigaciones, un estudio más detallado del fenómeno de humedad que evalúe la durabilidad de la mezcla a largo plazo, mediante análisis químico, teorías de energía superficial libre, y ensayos recientes con equipos MiST (por sus siglas en inglés de *Moisture Induced Stress Tester*) y cámaras ambientales donde se involucre el efecto del agua junto a las condiciones ambientales y el efecto de las cargas.

- Con base en los resultados de los ensayos de tracción indirecta bajo carga cíclica del tipo resiliente sobre mezclas asfálticas, se concluye que la mezcla MD12 fabricada con CA modificado con el producto II experimenta mayor rigidez bajo carga cíclica en comparación con aquella fabricada con CA modificado con el producto I y con CA 60-70 convencional. Lo anterior es debido principalmente a la mayor rigidez y viscosidad que reporta el CA modificado con el producto II en los ensayos de caracterización física y reológica. De la misma forma, se observa que las mezclas modificadas experimentan mayor rigidez bajo carga cíclica que aquella fabricada con CA 60-70 convencional proveniente de Barrancabermeja, cuando son sometidas a un proceso de envejecimiento a corto plazo (STOA). La mezcla fabricada con el CA modificado con el producto II experimenta 1,36, 1,4 y 1,47 veces mayor rigidez que aquella fabricada con CA 60-70 de Barrancabermeja cuando la temperatura de ensayo es de 10° C, 20° C y 30° C respectivamente. Para el caso de la mezcla fabricada con CA modificado con el producto I, se observa un ligero incremento en la rigidez de 1,13, 1,11 y 1,05 veces en comparación con aquella fabricada con CA 60-70 de Barrancabermeja, cuando la temperatura de ensayo es de 10° C, 20° C y 30° C respectivamente. Lo anterior hace prever que al emplear mezclas tipo MD12 fabricadas con los ligantes modificados tipo I y II, dichas mezclas experimentarán

mayor resistencia a las deformaciones plásticas bajo carga cíclica (ahuellamiento o roderas) que aquella fabricada con el asfalto CA 60-70 convencional producido en Barrancabermeja.

- Con base en los resultados de los ensayos de tracción indirecta bajo carga cíclica del tipo resiliente sobre mezclas asfálticas se concluye que, la mezcla MD12 más susceptible a cambiar sus propiedades e incrementar su rigidez cuando es sometida a procesos de envejecimiento a largo plazo (LTOA) es la fabricada con CA 60-70 convencional, y la menos susceptible es la fabricada con asfalto modificado con el producto I. Estos resultados son coherentes con los cambios reportados en las propiedades físicas y reológicas de los asfaltos cuando estos fueron sometidos a procesos de envejecimiento a corto y largo plazo.

- Bajo el modo de carga de esfuerzo controlado, las mezclas MD12 fabricadas con asfalto CA 60-70 convencional y modificado con el producto I experimentan similar vida a fatiga cuando son sometidas a un proceso de envejecimiento a corto y largo plazo en STOA y LTOA respectivamente. Adicionalmente, la tendencia general es que la mayor resistencia a fatiga la experimenta la mezcla MD12 fabricada con CA modificado con el producto II. Bajo este modo de carga, las mezclas MD12 fabricadas con asfalto CA 60-70 convencional y modificado con el producto I experimentan similar resistencia y vida a fatiga cuando son sometidas a un proceso de envejecimiento a corto plazo en STOA y cuando los niveles de esfuerzo cíclicos aplicados son bajos. Para resistir 105, 106 y 107 ciclos de carga, la mezcla MD12 fabricada con el producto tipo II y sometida en STOA tuvo que ser sometida a esfuerzos cíclicos aproximados de 305 kPa, 209 kPa y 143 kPa respectivamente, mientras que la mezcla MD12 fabricada con los otros dos asfaltos en promedio a 205 kPa, 110 kPa y 70 kPa. En LTOA, para resistir 105, 106 y 107 ciclos de carga, la mezcla MD12 fabricada con el producto tipo II tuvo que ser sometida a esfuerzos cíclicos aproximados de 377 kPa, 298 kPa y 236 kPa respectivamente, mientras que la mezcla MD12 fabricada con los otros dos asfaltos en promedio a 250 kPa, 145 kPa y 85 kPa.

- La deformación en el estado de falla (ε_{x_max}) que experimenta la mezcla MD12 fabricada con los tres asfaltos analizados es similar en los ensayos de fatiga cuando es sometida a un proceso de envejecimiento a corto plazo en STOA. En LTOA, las mezclas MD12 fabricadas con asfalto CA 60-70 convencional y modificado con el producto I experimentan similar deformación. La tendencia general, es que la menor deformación (comportamiento frágil) la experimenta la mezcla MD12 fabricada con CA modificado con el producto II, en especial cuando la amplitud de la carga o la deformación aplicada al material es pequeña.

- En términos generales, cuando se emplean asfaltos modificados tipo I y II para fabricar mezclas tibias con granulometría de una mezcla tipo MD12, su desempeño es mejor en comparación con aquellas mezclas MD12 fabricadas con CA 60-70 convencional proveniente de Barrancabermeja, ya que experimentan mayor resistencia a fatiga, a las deformaciones permanentes, al daño por humedad y al envejecimiento. Para el caso de la ciudad de Bogotá D.C. (temperatura media anual promedio entre 13° C y 15° C y mínima de 5° C), se recomienda no emplear las mezclas asfálticas tipo MD12 fabricadas con el asfalto convencional de Barrancabermeja y los asfaltos modificados tipo I y II en capas asfálticas delgadas (espesor inferior a 6 cm).

- Los espesores de capas de las estructuras de pavimentos flexibles diseñadas con las mezclas asfálticas tibias, elaboradas con los asfaltos modificados tipo I y II, son ligeramente inferiores en comparación a aquella dimensionada con una mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja. Lo anterior permite prever que, al diseñar estructuras de pavimentos flexibles con capas de rodadura conformadas por alguna de las dos mezclas tibias analizadas en este proyecto (Contrato IDU-039-2012 “Caracterización Dinámica de Mezclas Asfálticas Tibias”), no se generarán cambios significativos en los espesores de capas con respecto a estructuras dimensionadas empleando capas de rodadura compuestas por mezclas asfálticas tradicionales del tipo MD12.

- A pesar que las estructuras de pavimento flexible diseñadas empleando mezcla tipo MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja como capa de rodadura tienden a ser ligeramente superiores en espesor, los estados de deformación a tracción en la fibra inferior de la capa asfáltica que experimentarán dichas estructuras es ligeramente superior a aquellos que experimentarán las estructuras que emplean capa de rodadura compuesta por las dos mezcla asfálticas modificadas analizadas (mezclas tibias fabricadas con asfalto modificado tipo I y II).

- Todas las estructuras modeladas en las cuales se emplea la mezcla asfáltica tibia elaborada con el ligante modificado tipo II presentan menor costo por kilómetro respecto las estructuras con la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja; caso contrario se presenta con todas las estructuras modeladas en las que se emplea la mezcla asfáltica tibia elaborada con el ligante modificado tipo I, ya que presentan mayor costo por kilómetro respecto las estructuras con la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja.

10. BIBLIOGRAFÍA

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials. Guide for Design of Pavement Structures, Washington, D. C., 1986, 1993.

Abo-Qudais, S., y Al-Shweily, H. (2007). Effect of Aggregate Properties on Asphalt Mixtures Stripping and Creep Behavior. Construction and Building Materials, 21, 1886-1898.

Abo-Qudais, S., y Al-Shweily, H. (2007a). Effect of Antistripping Additives on Environmental Damage of Bituminous Mixtures. Building and Environment, 42, 2929-2938.

Airey, G. D. (2003). State of the Art Report on Ageing Test Methods for Bituminous Pavement Materials. International Journal of Pavement Engineering, 4(3), 165-176.

Aksoy, A., Samlioglu, K., Tayfur, S., y Ozen, H. (2005). Effects of Various Additives on the Moisture Damage Sensitivity of Asphalt Mixtures. Construction and Building Materials, 19, 11-18.

Amirkhanian, S., y Williams, B. (1993). Recyclability of Moisture Damaged Flexible Pavements. Journal of Materials in Civil Engineering, 5(4), 510-530.

Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia ASOPAC. (2004). Cartilla del Pavimento Asfáltico. Bogotá D.C., Colombia: Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia ASOPAC.

Baburamani, P. Asphalt fatigue life prediction models – a literature review. ARRB Transport Research Ltd, Vermon South, Victoria. Research Report ARR 334, 1999.

Bagampadde, U., y Kiggundu, B. (2007). Influence of Truck Load Channelization on Stripping in Asphalt Mixtures. Construction and Building Materials, 21, 1628-1635.

Bagampadde, U., Isacsson, U., y B., K. (2005). Influence of aggregate chemical and mineralogical composition on stripping in bituminous mixtures. International Journal of Pavement Engineering, 6(4), 229-239.

Biro, S., Gandhi, T., y Amirkhanian, S. (2009). Midrange Temperature Rheological Properties of Warm Asphalt Binders. Materials in Civil Engineering, 21, No. 7, 316-323.

Blades, C. (2009). Hot, Warm, Luke Warm and Cold Mix Asphalt: New York Ltap Center.

Bonaquist, R. Mix Design Practices for Warm Mix Asphalt. NCHRP Report 691, Transportation Research Board - TRB, Washington, D.C., 2011.

Breakah, T., Bausano, J., y Williams, R. (2009). Integration of Moisture Sensitivity Testing with Gyratory Mix Design and Mechanistic-Empirical Pavement Design. Journal of Transportation Engineering, 135(11), 852–857.

Calderon, A. (2011). Mezclas Asfálticas Tibias (MAT). In P. d. I. d. T. PITRA (Ed.) (Vol. 2). San José, Costa Rica.

Capitão, S., Picado-Santos, l., and Martinho, F. Pavement Engineering Materials: Review on the use of Warm-Mix Asphalt. Construction and Building Materials, 36, 1016–1024, 2012.

Caro, S., Masad, E., Bhasin, A., y Little, D. (2008). Moisture Susceptibility of Asphalt Mixtures, Part 1: Mechanisms. International Journal of Pavement Engineering, 9(2), 81-98.

D'Angelo, J., Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowsert, J., Harman, T., et al. (2008). Warm- Mix Asphalt: European Practice. Alexandria, VA: Federal Highway Administration FHWA; American Association of State Highway and Transportation Officials; National Cooperative Highway Research Program.

Di Benedetto, H. and De la Roche, C. State of the Art on Stiffness Modulus and Fatigue of Bituminous Mixtures. Report RILEM No. 17 Bituminous Binders and Mixes: State of the Art and Interlaboratory Test on Mechanical Behavior and Mix Design, L. Francken, ed., E and FN Spon, London, 97-123, 2005.

Di Benedetto, H., De la Roche, C., Baaj, H., Pronk, A. and Lundstrom, R. Fatigue of Bituminous Mixtures. Material and Structures, Vol. 37, No. 4, 202-216, 2004.

Dosh, W. (2009, August 31-September 2, 2009). Warm-Mix Asphalt for Rural County Roads. Paper presented at the Cold Regions Engineering 2009: Cold Regions Impact on Research, Design, and Construction: Proceedings of the 14th Conference on Cold Regions Engineering, Duluth, Minnesota U.S.A.

El Hussein, H., Kim, K., y Ponniah, J. (1998). Asphalt Concrete Damage Associated with Extreme Low Temperatures. Journal of Materials in Civil Engineering, 10(4), 269-274.

Epps, J. A. and Monismith, C. L. Fatigue of Asphalt Concrete Mixtures – Summary of Existing Information. Fatigue of Compacted Bituminous Aggregate Mixtures, ASTM STP 508, American Society for Testing and Materials, 19-45, 1972.

Estakhri, C., Cao, R., Alvarez, A., y Button, J. W. (2009). Production, placement, and performance evaluation of warm mix asphalt in Texas. Geotechnical Special Publication: Material, Design, Construction, Maintenance, and Testing of Pavement(193), 1-8.

European Asphalt Pavement Association EAPA. (2010). The Use of Warm Mix Asphalt. 1-13.

Gandhi, T. (2008). Effects of warm asphalt additives on asphalt binder and mixture properties. Clemson University.

Garnica, P., Delgado, H., Gómez, J. A., Romero, J. A., Alonso, S., y Alarcón, H. A. (2004). Aspectos del diseño volumetrico de mezclas asfalticas. Publicación Técnica, Transportation Research Board TRB(246), viii+54.

Gonzalez, J., Lingier, S., Caujolle, P., Barreto, G., Stachyra, R., y Hariasz, J. (2009). Warm Mix Asphalts with Chemical Additives: Properties and Advantages. Paper presented at the II international conference. Environmentally friendly roads. Enviroad.

Guía metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras (2008).

Hearon, A. J., y Diefenderfer, S. D. (2009). Laboratory evaluation of warm asphalt properties and performance. Paper presented at the The 2008 Airfield and Highway Pavements Conference.

http://www.idu.gov.co/web/guest/contratacion_precios. Página web consultada por última vez el 26 de febrero de 2014.

Hurley, G. C., y Prowell, B. D. (2006). Evaluation of potential process for use in warm mix asphalt. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 75, 41–90.

Instituto de Desarrollo Urbano IDU y Universidad de Los Andes. Manual de Diseño de Pavimentos para Bogotá. Bogotá D.C., Colombia. 2001

Instituto de desarrollo urbano IDU. (2011a). Cemento asfáltico (Vol. 200-11, pp. 5). Bogota D.C.: Instituto de desarrollo urbano IDU.

Instituto de desarrollo urbano IDU. (2011b). Mezclas asfálticas en caliente densas, semidensa, gruesas, y de alto módulo (Vol. 510-11, pp. 49). Bogota D.C.: Instituto de desarrollo urbano-IDU.

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2013a). Estado de la Malla Vial en la Ciudad de Bogotá D.C. Retrieved 01 de abril de 2013, from http://www.idu.gov.co/web/guest/malla_inventario

Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2013b). Listado de Precios Unitarios, Enero de 2013. Retrieved from http://www.idu.gov.co/web/guest/contratacion_precios.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007a). Análisis granulométrico de suelos por tamizado (Vol. I.N.V. E-123-07, pp. 6). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007b). Contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros o concretos (Vol. I.N.V. E-212-07, pp. 3). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007c). Determinación de la resistencia al desgaste utilizando el equipo Micro-Deval (Vol. I.N.V. E-238-07, pp. 7). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007d). Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influencia por forma de las partículas, textura de la superficie y gradación) (Vol. I.N.V. E-239-07, pp. 10). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007e). Determinación del límite líquido de los suelos (Vol. I.N.V. E-125-07, pp. 13). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007f). Ductilidad de los materiales asfálticos (Vol. I.N.V. E-702-07, pp. 5). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007g). Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas (Vol. I.N.V. E-749-07, pp. 8). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007h). Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento (Vol. I.N.V. E-720-07, pp. 8). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007i). Equivalente de arena de suelos y agregados finos (Vol. I.N.V. E-133-07, pp. 15). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007j). Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10 % de Finos (Vol. I.N.V. E-224-07, pp. 4). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007k). Evaluación de la suceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta (Vol. I.N.V. E-725-07, pp. 10). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007l). Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos (Vol. I.N.V. E-732-07, pp. 21). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007m). Gravedad específica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos (Vol. I.N.V. E-707-07, pp. 8). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007n). Gravedad específica y absorción de agregados finos (Vol. I.N.V. E-222-07, pp. 8). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007o). Gravedad específica y absorción de agregados gruesos (Vol. I.N.V. E-223-07, pp. 6). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007p). Límite plástico e índice de plasticidad (Vol. I.N.V. E-126-07, pp. 7). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007q). Medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (Vol. I.N.V. E-750-07, pp. 28). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007r). Método para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional (Vol. I.N.V. E-717-07, pp. 5). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007s). Método para determinar partículas planas, alargadas, o planas y alargadas en agregados gruesos (Vol. I.N.V. E-240-07, pp. 7). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007t). Penetración de los materiales asfálticos (Vol. I.N.V. E-706-07, pp. 8). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007u). Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (Vol. I.N.V. E-227-07, pp. 5). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007v). Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (Aparato de anillo y bola) (Vol. I.N.V. E-712-07, pp. 7). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007w). Recuperación del asfalto de una solución utilizando el rotavapor (Vol. I.N.V. E-759-07, pp. 5). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007x). Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio (Vol. I.N.V. E-756-07, pp. 15). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007y). Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½") por medio de la maquina de los angeles (Vol. I.N.V. E-218-07, pp. 6). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007z). Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall (Vol. I.N.V. E-748-07, pp. 15). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007aa). Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio (Vol. I.N.V. E-220-07, pp. 12). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2007ab). Valor de azul de metileno en agregados finos y en llenante mineral (Vol. I.N.V. E-235-07, pp. 4). Bogota D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2008). Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito. Bogotá D.C.

Jahromi, S. (2009). Estimation of Resistance to Moisture Destruction in Asphalt Mixtures. Construction and Building Materials, 23, 2324-2331.

Kandhal, P., Lubold, J. C., y Roberts, F. (1989, February 20-22.). Water Damage to Asphalt Overlays: Case Histories. Paper presented at the Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists, Nashville, Tennessee, U.S.A.

Kanitpong, K., y Bahia, H. (2008). Evaluation of HMA Moisture Damage in Wisconsin as it Relates to Pavement Performance. International Journal of Pavement Engineering, 9(1), 9-17.

Kassem, E., Masada, E., Lytton, R., y Bulut, R. (2009). Measurements of the Moisture Diffusion Coefficient of Asphalt Mixtures and its Relationship to Mixture Composition. International Journal of Pavement Engineering, 10(6), 389-399.

Kringos, N., Scarpas, T., Copeland, A., y Youtcheff, J. (2008a). Modelling of Combined Physical–Mechanical Moisture-Induced Damage in Asphaltic Mixes, Part 2: Moisture Susceptibility Parameters. International Journal of Pavement Engineering, 9(2), 129-151.

Kringos, N., Scarpas, T., Kasbergen, C., y Selvadurai, P. (2008). Modelling of Combined Physical–Mechanical Moisture-Induced Damage in Asphaltic Mixes, Part 1: Governing Processes and Formulations. International Journal of Pavement Engineering, 9(2), 115-128.

Krishnan, J., y Rao, C. (2001). Permeability and Bleeding of Asphalt Concrete Using Mixture Theory. International Journal of Engineering Science, 39, 611-627.

Kristjansdottir, O. (2006). Warm Mix Asphalt for Cold Weather Paving. University of Washington, Washington.

Lee, S., Mun, S., y Kim, Y. (2011). Fatigue and Rutting Performance of Lime-Modified Hot-Mix Asphalt Mixtures. Construction and Building Materials, 25, 4202-4209.

Lottman, R., y Johnson, D. (1971). The Moisture Mechanism that Causes Asphalt Stripping in Asphaltic Pavement Mixtures: Univ. of Idaho.

Lu, Q., y Harvey, J. (2006). Field investigation of Factors Associated with Moisture Damage in Asphalt Pavements. Paper presented at the 10th International Conference on Asphalt Pavements (ISAP), Quebec, Canada.

Lu, Q., y Harvey, J. (2006a). Evaluation of Moisture Sensitivity of Hot Mix Asphalt by Flexural Beam Fatigue Tests: Asphalt Concrete, ASCE.

Majildzadeh, K., y Brovold, F. (1968). State of the Art: Effect of Water on Bitumen-Aggregate Mixtures: Highway Res. Board Special Report

Mallick, R., Pelland, R., y Hugo, F. (2005). Use of Accelerated Loading Equipment for Determination of Long Term Moisture Susceptibility of Hot Mix Asphalt. International Journal of Pavement Engineering, 6(2), 125-136.

Mehrara, A., y Khodaii, A. (2013). A Review of State of the Art on Stripping Phenomenon in Asphalt Concrete. Construction and Building Materials, 38, 423-442.

Ministerio de obras públicas de Panamá. (2002). Mezcla asfáltica densa en frío from http://www.mop.gob.pa/especificaciones/edicion%202002/

Ministerio de Transporte MINTRANSPORTE - Oficina de Planeación. (2005). Diagnóstico del Sector Transporte. Bogotá D. C., Colombia.

Ministerio de Transporte MINTRANSPORTE - Oficina de Planeación. (2010). Diagnóstico del Transporte - Cifras Correspondientes al año 2009 y Anteriores. Bogotá D.C., Colombia.

Mohamed, E. H. (1993). Debonding Location in Asphalt Concrete Associated with Moisture Damage. Journal of Materials in Civil Engineering, 5(4), 497-509.

Mohammad, J., Khattak, A., y Kyatham, V. (2008). Mechanistic Characteristics of Moisture Damaged Asphalt Matrix and Hot Mix Asphalt Mixtures. Airfield and Highway Pavements 2008, ASCE, 134-146.

Montana Department of Transportation.

Montejo, A. (2006). Ingenieria de pavimentos. Fundamentos, estudios básicos y diseño. Bogotá D.C., Colombia: Universidad Católica de Colombia.

Myers, R., Shrager, B., y Brooks, G. (2000). Hot Mix Asphalt Plants – Emissions Assessment Report. NC: Office of Air Quality Planning and Standards, Office of Air and Radiation, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711.

Nejad, F., Azarhoosh, A., Hamedi, G., y Azarhoosh, M. (2012). Influence of Using Nonmaterial to Reduce the Moisture Susceptibility of Hot Mix Asphalt. Construction and Building Materials, 31, 384–388.

Olard, F., y Noan, C. (2007). Low Energy Asphalts. Paper presented at the 23RD Piarc world road congress Paris, 17-21 September 2007, Paris.

Oliveros, M. A., y Caicedo, B. (2010). Caracterización de mezclas asfálticas bajo metodología SUPERPAVE. Universidad de Los Andes.

Ortega, D. C. (2010). Tecnologías y medidas de control para disminuir la contaminación atmosférica generadas por las plantas trituradoras y de asfalto. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia.

Perkins, S. W. (2009). Synthesis of warm mix asphalt paving strategies for use in Montana highway construction (Final Report). Helena, Montana U.S.A.: Federal Highway Administration FHWA

Peterson, J. (1982). Chemistry of Asphalt--Aggregate Interactions Relationship with Pavement Moisture Damage Test. Washington, D.C., U.S.A.: National Research Council.

Ran, J., Xu, S., Li, M., y Ji, J. (2010). Research on the performances of warm Asfhalt and Warm Mix Asphalt with Sasobit. Paper presented at the 10th International Chinese conference of transportation professionals: integrated transportation systems, Beijing.

Reyes, F.A. Diseño Racional de Pavimentos. 1ra. Edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia, 2003.

Rondón, H. A. y Reyes, F. A. Pavimentos Flexibles. Editorial Académica Española, Madrid, España, 2011.

Rondón, H. A., Fernández, W. D., Noguera, J. A. Influencia de la Rigidez de la Subrasante y las Capas Granulares sobre la Vida a Fatiga de Mezclas Asfálticas. Revista TecnoLógicas, No. 31, 1-21, 2013.

Rubio, M. C., Martínez, G., Baena, L., y Moreno, F. (2012). Warm mix asphalt: an overview. Journal of cleaner production, 24, 76-84.

Sabogal, F. (2001). Gestión de la Conservación Vial en Colombia. Paper presented at the XIV Congreso Mundial de la Carretera, International Road Federation – IRF, París, Francia.

Sengoz, B., y Agar, E. (2007). Effect of Asphalt Film Thickness on the Moisture Sensitivity Characteristics of Hot-Mix Asphalt. Building and Environment, 42, 3621-3628.

Shell Colombia S.A. (2013). Bitumen 60-70. Mosquera-Colombia.

Silva, H., Oliveira, J., Peralta, J., y Zoorob, S. (2010). Optimization of Warm Mix Asphalts Using Different Blends of Binders and Synthetic Paraffin Wax Contents. Construction and Building Materials, 24(9), 1621-1631.

Speier, G. (1994). Antecedentes del diseño de mezclas Asfalticas de Superpave. p. 1-170.

Sterling, V A., Advanced Asphalt Technologies. Special Mixture Design Considerations and Methods for Warm Mix Asphalt: A Supplement to NCHRP Report 673: A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary. NCHRP Report 714, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2012.

Stuart, K. D. (1986). Evaluation of Procedure Used to Predict Moisture Damage in Asphalt Mixtures: Federal Highway Administration.

Sutton, C. (2002). Hot Mix Blue Smoke Emissions. ASTEC.

Tao, Z., Ni, F., Yan, J., y Huang, W. (2009). Evotherm warm mix asphalt technology applied on ultra-thin pavement in China. Paper presented at the Material Design, Construction, Maintenance, and Testing of Pavements@ sSelected Papers from the 2009 GeoHunan International Conference.

Tarefder, R., Zaman, M., y Hobson, K. (2003). A Laboratory and Statistical Evaluation of Factors Affecting Rutting. International Journal of Pavement Engineering, 4(1), 59-68.

The Asphalt Pavement Association of Oregon. (2003). Warm Mix Asphalt Shows Promise for Cost Reduction, Environmental Benefit. Salem, OR, U.S.A.: The Asphalt Pavement Association of Oregon.

Vaitkus, A., Cygas, D., Laurinavicius, A., y Perveneckas, Z. (2009). Analysis and Evaluation of Possibilities for the use of Warm Mix Asphalt in Lithuania. Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 4(2), 80–86.

Williams, T., y Miknis, F. (1998). Use of Environmental SEM to Study Asphalt-Water Interactions. Journal of Materials in Civil Engineering, 10(2), 121-124.

You, Z.-P., y Goh, S.-W. (2008). Laboratory evaluation of warm mix asphalt: A preliminary study. International Journal of Pavement Research and Technology, 1(1), 34-40.

11. ANEXOS

El presente informe de etapa lleva anexo los siguientes documentos:

- Estado de la red vial nacional y datos importantes a tener en cuenta
- Caracterización de agregados gruesos
- Caracterización de agregados finos
- Caracterización del ligante asfáltico Barrancabermeja 60-70
- Caracterización del ligante asfáltico modificado para la creación de mezclas tibias con el producto I
- Caracterización del ligante asfáltico modificado para la creación de mezclas tibias con el producto II
- Caracterización dinámica de la mezcla asfáltica MD12 con asfalto Barrancabermeja 60-70
- Caracterización dinámica de la mezcla asfáltica MD12 con asfalto Barrancabermeja 60-70 modificado con el producto I
- Caracterización dinámica de la mezcla asfáltica MD12 con asfalto Barrancabermeja 60-70 modificado con el producto II
- Información simulaciones de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la subbase granular, para 82 kN y 5 Hz.
- Información simulaciones de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la subbase granular, para 130 kN y 5 Hz.
- Información simulaciones de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la capa asfáltica, para 82 kN y 5 Hz.
- Información simulaciones de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la capa asfáltica, para 130 kN y 5 Hz.
- Análisis de precios unitarios para una mezcla asfáltica en caliente tipo MD12, en planta.
- Análisis de precios unitarios para una mezcla asfáltica tibia tipo MD12, en planta.
- Especificaciones particulares

ANEXO A. Estado de la red vial nacional y datos importantes a tener en cuenta

1. De acuerdo con el Instituto de Desarrollo Urbano - IDU (2013a), la malla vial a diciembre de 2011 en la ciudad de Bogotá D.C., alcanza 15275.8 km-carril de los cuales el 94,24% corresponden al Subsistema Vial (malla vial arterial con una composición del 17%, intermedia con 25% y local con 58%) y el porcentaje restante (5,76%) al Subsistema de Transporte (troncales de Transmilenio). Del Subsistema Vial en estado malo y regular se encuentran el 71% de las vías (malo 51% y regular 20%).

2. De acuerdo con el Ministerio de Transporte (2010), "La red de carreteras del país, está constituida por aproximadamente 164 mil kilómetros, distribuida en 16.776 de red primaria a cargo de la nación, de los cuales son 13.296 km a cargo del Instituto Nacional de Vías y 3.380 km concesionados; 147.500 km entre red secundaria y terciaria repartidos así: 72,761 km a cargo de los departamentos, 34.918 a cargo de los municipios, 27.577 del Instituto Nacional de Vías, y 12.251 km de los privados". El INVIAS, actualiza permanentemente el estado de la red vial a su cargo, clasificándola en vías pavimentadas y no pavimentadas. A julio de 2012 el estado de la red vial nacional primaria a cargo del INVIAS se presenta en la Tabla A 1.

   En la Tabla A 1 se observa que gran parte de la malla vial primaria pavimentada y en afirmado a cargo del INVIAS se encuentra en mal y regular estado (32,86% y 29,8% respectivamente). A lo anterior se debe sumar que del total de la red vial nacional a cargo del INVIAS (13.579,24 km), aproximadamente el 23,5% (3.188,98 km) aún no ha sido pavimentado, y de acuerdo al Ministerio de Transporte (2008), la red secundaria y terciaria *presenta un estado crítico y paulatinamente ha venido deteriorándose por la carencia de mantenimiento debido los bajos recursos de que disponen los departamentos y la Nación para inversión en infraestructura vial*.

Tabla A 1. Estado de la red vial nacional primaria.

Red pavimentada					
Estado	**MB**	**B**	**R**	**M**	**MM**
Longitud [km]	1.232,15	2.725,05	2.416.56	1.832.70	106,57
Porcentaje [%]	14,82	32,78	29,07	22,05	1,28
Red en afirmado					
Estado	**MB**	**B**	**R**	**M**	**MM**
Longitud [km]	9,54	155,17	874,11	1.314,78	374,24
Porcentaje [%]	0,11	5,69	32,04	48,2	13,72
Red total					
Estado	**MB**	**B**	**R**	**M**	**MM**
Longitud [km]	1.241,69	2.880,22	3.290,67	3.147,48	480,81
Porcentaje [%]	11.,24	26,09	29,80	28,51	4,35

MB: muy buena; **B**: buena; **R**: regular; **M**: mal; **MM**: muy mal.

3. En Colombia, la tendencia del parque automotor en los últimos 30 años ha sido incrementar en número y magnitud de cargas. El promedio de crecimiento anual del tránsito en los últimos años y la tasa anual promedio de crecimiento de la capacidad instalada de carga de acuerdo con Ministerio de Transporte (2005) ha sido del 4,6% y 5,08% respectivamente.

4. La máxima velocidad de circulación por vías nacionales de 120 km/h establecida en la ley 1383 de 2010 disminuyó a 100 km/h debido a los efectos invernales ocurridos entre el año 2010 y el 2011, al mal estado de las vías, obras de drenaje y estructuras de contención de laderas.

5. En Colombia la movilización de carga por las vías nacionales (uno de los indicadores más importantes que muestra el crecimiento de la economía de un país), expresada en miles de toneladas, creció entre 1991 y el año 2003 en 42.107 (Ministerio de Transporte Ministerio de Transporte - Oficina de Planeación, 2005). La tasa de crecimiento anual de movilización de productos del sector agrícola, manufacturero, minero y pecuario crecieron en 5,47%, 14,82%, 19,11% y 4,88% respectivamente. Entre el año 2003 al 2009 la carga movilizada por carretera creció, en miles de toneladas, desde 73.034 hasta 177.057 (Ministerio de Transporte - Oficina de Planeación, 2010).

6. Según Sabogal (2001), “la densidad de carreteras pavimentadas en Colombia con 0,013 km/km^2 es una de las más bajas de América, la longitud de carreteras de 4 o

más carriles (270 km) es la menor entre países de similares niveles de tránsito y desarrollo económico, la baja densidad de longitud de carreteras pavimentadas por cada mil habitantes (0,34 km) coloca a Colombia en uno de los últimos lugares del continente, la tasa de mortalidad en accidentes de tránsito (152 por cada millón de habitantes) indica la escasa seguridad en las vías del país, los límites legales de carga por eje y total vehicular son los más altos del continente y se encuentran entre los más generosos del mundo, y las tendencias hacia las sobrecargas por parte de los transportadores son altas, en general cercanas a 30% cuando no hay operativos de control."

ANEXO B. Caracterización de agregados gruesos

En este Anexo se encuentran los resultados de los ensayos de caracterización de agregados gruesos listados a continuación:

- Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles.
- Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10 % de finos.
- Determinación de la resistencia al desgaste utilizando el equipo Micro-Deval.
- Peso específico y absorción de los agregados gruesos.
- Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio - solidez (5 ciclos).
- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados.
- Método para determinar partículas planas, alargadas, o planas y alargadas.
- Peso específico y absorción de los agregados correspondientes a la gradación de una mezcla MD12.

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-03

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS - MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AG1-03/IE-AG1-04

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 218/219-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Fecha de Ensayo: 2013-02-26	Fecha Recepción: 2013-02-14

Referencia		024 Y 025-2	024 Y 025-2
Muestra		Grava de 1" Fuente aluvial Río Coello	Grava de 1" Fuente aluvial Río Coello
Localización		----	------
Tamaño Máximo Nominal		1 1/2"	1 1/2"
Descripción		Grava triturada, gris	Grava triturada, gris
Condición de la muestra		Seca	Seca
Gradación usada		A	A
No de Vueltas		100	500
Masa muestra seca antes del ensayo (g)	P_1	5000	5000
Masa muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre el tamiz No 12 (g)	P_2	4736.9	3627
Pérdida	(g)	263.1	1373
Desgaste	%	5 ± 0.05 *	27 ± 0.24 *
Coeficiente de Uniformidad		0.19	

DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑOS				MASA Y GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA						
PASA		RETENIDO		A	B	C	D	E	F	G
mm	in	mm	in							
76,1	3	64,0	2 1/2					2500±50		
64,0	2 1/2	50,8	2					2500±50		
50,8	2	38,1	1 1/2					5000±50	5000±50	
38,1	1 1/2	25,4	1	1250±25					5000±25	5000±25
25,4	1	19,0	3/4	1250±25						5000±25
19,0	3/4	12,7	1/2	1250±10	2500±10					
12,7	1/2	9,5	3/8	1250±10	2500±10					
9,5	3/8	6.4	1/4			2500±10				
6.4	1/4	4.8	No 4			2500±10				
4,8	No 4	2,4	No 8				5000±10			
PESO TOTAL (g)				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
NÚMERO DE ESFERAS				12	11	8	6	12	12	12
NÚMERO DE VUELTAS				500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AG1-03

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025/2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS - MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AG1-03/IE-AG1-04

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 218/219-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Fecha de Ensayo: 2013-02-26	Fecha Recepción: 2013-02-14

Referencia		024 Y 025-3	024 Y 025-3
Muestra		Grava de 3/4" Fuente peña Ts Melgar	Grava de 3/4" Fuente peña Ts Melgar
Localización		----	------
Tamaño Máximo Nominal		3/4"	3/4"
Descripción		Grava triturada, gris	Grava triturada, gris
Condición de la muestra		Seca	Seca
Gradación usada		B	B
No de Vueltas		100	500
Masa muestra seca antes del ensayo (g)	P_1	5000.4	5000.4
Masa muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre el tamiz No 12 (g)	P_2	4666.7	3602.4
Pérdida (g)		333.7	1398
Desgaste %		7 ± 0.06 *	28 ± 0.25 *
Coeficiente de Uniformidad		0.24	

DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑOS				MASA Y GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA						
PASA		RETENIDO		A	B	C	D	E	F	G
mm	in	mm	in							
76,1	3	64,0	2 1/2					2500±50		
64,0	2 1/2	50,8	2					2500±50		
50,8	2	38,1	1 1/2					5000±50	5000±50	
38,1	1 1/2	25,4	1	1250±25					5000±25	5000±25
25,4	1	19,0	3/4	1250±25						5000±25
19,0	3/4	12,7	1/2	1250±10	2500±10					
12,7	1/2	9,5	3/8	1250±10	2500±10					
9,5	3/8	6.4	1/4			2500±10				
6.4	1/4	4.8	No 4			2500±10				
4,8	No 4	2,4	No 8				5000±10			
PESO TOTAL (g)				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
NÚMERO DE ESFERAS				12	11	8	6	12	12	12
NÚMERO DE VUELTAS				500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-03

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS - MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AG1-03/IE-AG1-04

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 218/219-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Fecha de Ensayo: 2013-02-26	Fecha Recepción: 2013-02-14

Referencia		024 Y 025-4	024 Y 025-4
Muestra		Grava de 1/2" Fuente aluvial Río Coello	Grava de 1/2" Fuente aluvial Río Coello
Localización		----	------
Tamaño Máximo Nominal		3/4"	3/4"
Descripción		Grava triturada, gris	Grava triturada, gris
Condición de la muestra		Seca	Seca
Gradación usada		B	B
No de Vueltas		100	500
Masa muestra seca antes del ensayo (g)	P_1	5000.8	5000.8
Masa muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre el tamiz No 12 (g)	P_2	4705.8	3644.2
Pérdida (g)		295	1356.6
Desgaste %		6 ± 0.05 *	27 ± 0.24 *
Coeficiente de Uniformidad		0.22	

DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑOS				MASA Y GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA						
PASA		RETENIDO		A	B	C	D	E	F	G
mm	in	mm	in							
76,1	3	64,0	2 1/2					2500±50		
64,0	2 1/2	50,8	2					2500±50		
50,8	2	38,1	1 1/2					5000±50	5000±50	
38,1	1 1/2	25,4	1	1250±25					5000±25	5000±25
25,4	1	19,0	3/4	1250±25						5000±25
19,0	3/4	12,7	1/2	1250±10	2500±10					
12,7	1/2	9,5	3/8	1250±10	2500±10					
9,5	3/8	6.4	1/4			2500±10				
6.4	1/4	4.8	No 4			2500±10				
4,8	No 4	2,4	No 8				5000±10			
PESO TOTAL (g)				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
NÚMERO DE ESFERAS				12	11	8	6	12	12	12
NÚMERO DE VUELTAS				500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-16

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69/99 Fax: Ext. 5373

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS AGREGADOS GRUESOS POR EL MÉTODO DE 10% DE FINOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 224-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P 025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Fecha de Ensayo: 2013-02-28	**Fecha Recepción:** 2013-02-14

I. DATOS DEL ENSAYO

Referencia		024 Y 025-2	024 Y 025-2
Fecha de ensayo		2013-02-28	2013-03-01
Muestra		Grava de 1" Fuente aluvial Río Coello	Grava de 1" Fuente aluvial Río Coello
Localización:		----	----
Condición de la muestra		Seca	Húmeda
Descripción		Grava triturada, gris	Grava triturada, gris
Naturaleza del material		Agregados constituidos de partículas angulares.	Agregados constituidos de partículas angulares.
Peso del agregado, que contiene el recipiente cilíndrico (m_a)	(g)	2646.2	2682.4
Peso del material retenido en No. 8 (m_r).	(g)	2438.2	2409.8
Porcentaje de finos producidos f_1 por la acción de la carga	(%)	7.9	10.2
Carga aplicada necesaria para generar la penetración seleccionada (x_1)	(kN)	160	182
Carga necesaria para producir un 10% de finos en el agregado ensayado (C_{10})	(kN)	189 ± 23 *	180 ± 22 *
Relación Húmedo/Seco	(%)	95.6	± 11.4 *

II. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Tabla 1. Penetración del pistón de carga de acuerdo a la naturaleza de la muestra

Naturaleza del material	Penetración
Agregados constituidos de partículas redondeadas o sub-redondeadas.	15 mm
Agregados constituidos de partículas angulares.	20 mm
Agregados ligeros, que presenten vacíos en su interior.	24 mm

Ecuación (1) $$f_1 = \frac{(m_a - m_r)}{m_a}$$

Ecuación (2) $$C_{10} = \frac{14\, x_1}{(f_1\% + 4)}$$

OBSERVACIONES:

*El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansión k=2.

YOVANA QUEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-16

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69/99 Fax: Ext. 5373

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS AGREGADOS GRUESOS POR EL MÉTODO DE 10% DE FINOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 224-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P 025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Fecha de Ensayo: 2013-02-28	**Fecha Recepción:** 2013-02-14

I. DATOS DEL ENSAYO

Referencia		024 Y 025-3	024 Y 025-3
Fecha de ensayo		2013-02-28	2013-03-01
Muestra		Grava de 3/4" Fuente peña Ts Melgar	Grava de 3/4" Fuente peña Ts Melgar
Localización:		----	----
Condición de la muestra		Seca	Húmeda
Descripción		Grava triturada, gris	Grava triturada, gris
Naturaleza del material		Agregados constituidos de partículas angulares.	Agregados constituidos de partículas angulares.
Peso del agregado, que contiene el recipiente cilíndrico (m_a)	(g)	2611.6	2643.1
Peso del material retenido en No. 8 (m_r).	(g)	2369.8	2341.2
Porcentaje de finos producidos f_1 por la acción de la carga	(%)	9.3	11.4
Carga aplicada necesaria para generar la penetración seleccionada (x_1)	(kN)	154	135
Carga necesaria para producir un 10% de finos en el agregado ensayado (C_{10})	(kN)	163 ± 19 *	123 ± 15 *
Relación Húmedo/Seco	(%)	75.6	± 9.0 *

II. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Tabla 1. Penetración del pistón de carga de acuerdo a la naturaleza de la muestra

Naturaleza del material	Penetración
Agregados constituidos de partículas redondeadas o sub-redondeadas.	15 mm
Agregados constituidos de partículas angulares.	20 mm
Agregados ligeros, que presenten vacíos en su interior.	24 mm

Ecuación (1) $$f_1 = \frac{(m_a - m_r)}{m_a}$$

Ecuación (2) $$C_{10} = \frac{14\, x_1}{(f_1\% + 4)}$$

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-16

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69/99 Fax: Ext. 5373

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS AGREGADOS GRUESOS POR EL MÉTODO DE 10% DE FINOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 224-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P 025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Fecha de Ensayo: 2013-02-28	**Fecha Recepción:** 2013-02-14

I. DATOS DEL ENSAYO

Referencia		024 Y 025-4	024 Y 025-4
Fecha de ensayo		2013-02-28	2013-03-01
Muestra		Grava de 1/2" Fuente aluvial Río Coello	Grava de 1/2" Fuente aluvial Río Coello
Localización:		----	----
Condición de la muestra		Seca	Húmeda
Descripción		Grava triturada, gris	Grava triturada, gris
Naturaleza del material		Agregados constituidos de partículas angulares.	Agregados constituidos de partículas angulares.
Peso del agregado, que contiene el recipiente cilíndrico (m_a)	(g)	2684.0	2692.5
Peso del material retenido en No. 8 (m_r).	(g)	2403.7	2408.0
Porcentaje de finos producidos f_1 por la acción de la carga	(%)	10.4	10.6
Carga aplicada necesaria para generar la penetración seleccionada (x_1)	(kN)	175	161
Carga necesaria para producir un 10% de finos en el agregado ensayado (C_{10})	(kN)	169 ± 20 *	155 ± 18 *
Relación Húmedo/Seco	(%)	91.3	± 10.9 *

II. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Tabla 1. Penetración del pistón de carga de acuerdo a la naturaleza de la muestra

Naturaleza del material	Penetración
Agregados constituidos de partículas redondeadas o sub-redondeadas.	15 mm
Agregados constituidos de partículas angulares.	20 mm
Agregados ligeros, que presenten vacíos en su interior.	24 mm

Ecuación (1) $$f_1 = \frac{(m_a - m_r)}{m_a}$$

Ecuación (2) $$C_{10} = \frac{14\, x_1}{(f_1\% + 4)}$$

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansión k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-15

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
96-LAB-005

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel. (57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax. Ext. 5373

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO AL DESGASTE POR ABRASIÓN UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: INFORME DE ENSAYO PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 238-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Fecha de Ensayo: 2013-02-25	**Fecha Recepción:** 2013-02-14

I. DATOS DEL ENSAYO

Referencia		024 Y 025-2	
Muestra		Grava de 1" Fuente aluvial Río Coello	
Condición de la muestra		Seca	
Descripción		Grava triturada, gris	
Tamaño Máximo		1"	
Gradación usada		1	
Peso muestra inicial	(g)	1501.5	
Peso muestra final	(g)	1322.5	
Pérdida	(g)	179.0	
Porcentaje de perdida	%	**11.9** ± **0.651** *	± *
Especificación		---	---

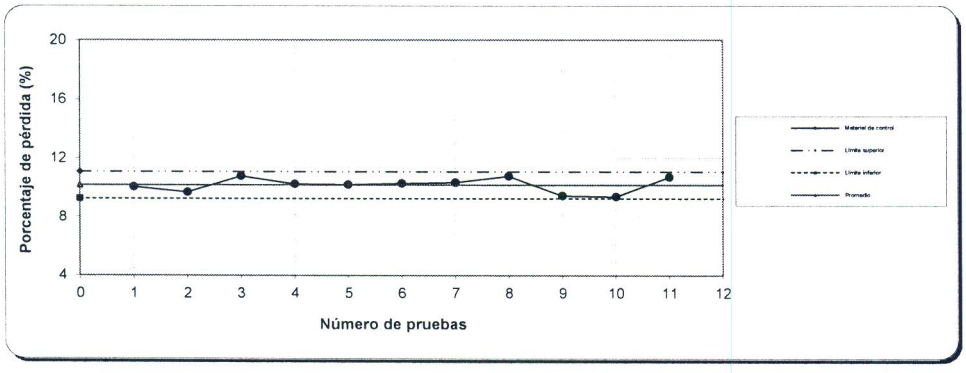
II. DATOS SOBRE PREPARACION DE LA MUESTRA DE ENSAYO.

Gradación	Material	Pasante tamiz		Retenido Tamiz		Masa	Tiempo de rotación	Número de revoluciones
		(mm)	(pulgadas)	(mm)	(pulgadas)	(g)	(minutos)	
1	Muestra de 19 mm seca al horno.	19.1	3/4	16	5/8	375	120 ± 1	12000 ± 100
		16.0	5/8	12.5	1/2	375		
		12.0	1/2	9.5	3/8	750		
2	Muestra de TMN* menor 16 mm seca al horno.	12.5	1/2	9.5	3/8	750	105 ± 1	10500 ± 100
		9.5	3/8	6.3	1/4	375		
		6.3	1/4	4.75	No 4	375		
3	Muestra de TMN menor 12,5 mm seca al horno.	9.5	3/8	6.3	1/4	750	95 ± 1	9500 ± 100
		6.3	1/4	4.75	No 4	750		

** TMN: Tamaño máximo nominal del agregado grueso*

III. DATOS MATERIAL DE CONTROL

Porcentaje de pérdida promedio (%)	10.2
Fecha último ensayo	2012-08-03



OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-15

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO AL DESGASTE POR ABRASIÓN UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: INFORME DE ENSAYO PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 238-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Fecha de Ensayo: 2013-02-25	**Fecha Recepción:** 2013-02-14

I. DATOS DEL ENSAYO

Referencia		024 Y 025-3	
Muestra		Grava de 3/4" Fuente peña Ts Melgar	
Condición de la muestra		Seca	
Descripción		Grava triturada, gris	
Tamaño Máximo		3/4"	
Gradación usada		1	
Peso muestra inicial	(g)	1500.1	
Peso muestra final	(g)	1312.7	
Pérdida	(g)	187.4	
Porcentaje de perdida	%	**12.5** ± **0.682** *	± *
Especificación		---	---

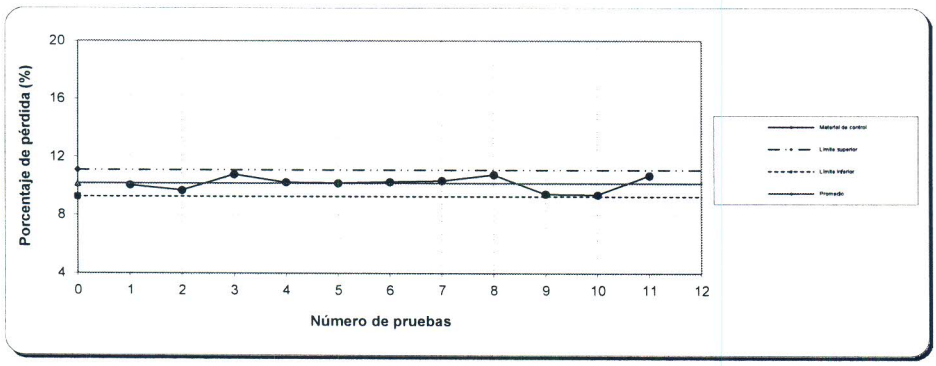
II. DATOS SOBRE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO.

Gradación	Material	Pasante tamiz		Retenido Tamiz		Masa	Tiempo de rotación	Número de revoluciones
		(mm)	(pulgadas)	(mm)	(pulgadas)	(g)	(minutos)	
1	Muestra de 19 mm seca al horno.	19.1	3/4	16	5/8	375	120 ± 1	12000 ± 100
		16.0	5/8	12.5	1/2	375		
		12.0	1/2	9.5	3/8	750		
2	Muestra de TMN* menor 16 mm seca al horno.	12.5	1/2	9.5	3/8	750	105 ± 1	10500 ± 100
		9.5	3/8	6.3	1/4	375		
		6.3	1/4	4.75	No 4	375		
3	Muestra de TMN menor 12,5 mm seca al horno.	9.5	3/8	6.3	1/4	750	95 ± 1	9500 ± 100
		6.3	1/4	4.75	No 4	750		

** TMN: Tamaño máximo nominal del agregado grueso*

III. DATOS MATERIAL DE CONTROL

Porcentaje de pérdida promedio (%)	10.2
Fecha último ensayo	2012-08-03



OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JOVANA OCHOA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ Daniel MR
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-15

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
04-LAB-002

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO AL DESGASTE POR ABRASIÓN UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: INFORME DE ENSAYO PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 238-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Fecha de Ensayo: 2013-02-27	**Fecha Recepción:** 2013-02-14

I. DATOS DEL ENSAYO

Referencia		024 Y 025-4	
Muestra		Grava de 1/2" Fuente aluvial Río Coello	
Condición de la muestra		Seca	
Descripción		Grava triturada, gris	
Tamaño Máximo		1/2"	
Gradación usada		2	
Peso muestra inicial	(g)	1500.1	
Peso muestra final	(g)	1305.9	
Pérdida	(g)	194.2	
Porcentaje de perdida	%	**12.9** ± **0.707** *	± *
Especificación		---	---

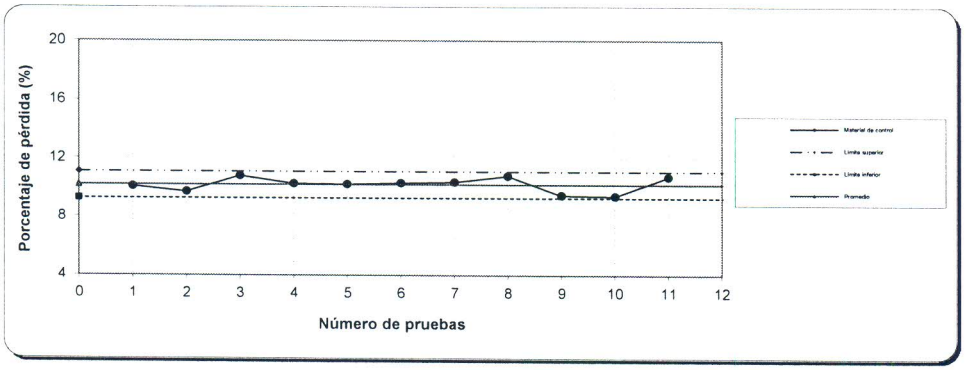
II. DATOS SOBRE PREPARACION DE LA MUESTRA DE ENSAYO.

Gradación	Material	Pasante tamiz (mm)	Pasante tamiz (pulgadas)	Retenido Tamiz (mm)	Retenido Tamiz (pulgadas)	Masa (g)	Tiempo de rotación (minutos)	Número de revoluciones
1	Muestra de 19 mm seca al horno.	19.1	3/4	16	5/8	375	120 ± 1	12000 ± 100
		16.0	5/8	12.5	1/2	375		
		12.0	1/2	9.5	3/8	750		
2	Muestra de TMN* menor 16 mm seca al horno.	12.5	1/2	9.5	3/8	750	105 ± 1	10500 ± 100
		9.5	3/8	6.3	1/4	375		
		6.3	1/4	4.75	No 4	375		
3	Muestra de TMN menor 12,5 mm seca al horno.	9.5	3/8	6.3	1/4	750	95 ± 1	9500 ± 100
		6.3	1/4	4.75	No 4	750		

** TMN: Tamaño máximo nominal del agregado grueso*

III. DATOS MATERIAL DE CONTROL

Porcentaje de pérdida promedio (%)	10.2
Fecha último ensayo	2012-08-03



OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-01

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO INGENIERIA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J.Bogotá
Tel.: (57-1) 3208320 Ext 5268/69 Fax: Ext 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AG1-01 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 223-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13 **PROYECTO:** IDU 038-039

Referencia: 024 Y 025-2
Localización: -----
Descripción: Grava triturada, gris

Muestra: Grava de 1" Fuente aluvial Río Coello
Fecha de Ensayo: 2013-02-28
Fecha de Recepción: 2013-02-14

FRACCIÓN No 1: 1" - Nº4

Prueba No		1	--	--
Peso en el aire muesta seca	(A) (g)	7892.3	--	--
Peso en el aire S.S.S.	(B) (g)	8027.2	--	--
Peso sumergida en Agua de la muestra saturada	(C) (g)	4882.8	--	--
Gravedad específica bulk, Gsb		2.51 ± 0.01 *	-- ± -- *	-- ± -- *
Gravedad específica bulk S.S.S., Gsb_{sss}		2.55 ± 0.01 *	± -- *	-- ± -- *
Gravedad específica aparente, Gsa		2.62 ± 0.01 *	-- ± -- *	-- ± -- *
% Absorción		1.7 ± 0.21 *	-- ± -- *	-- ± -- *
Temperatura Ambiente	Tx (ºC)	23	--	--

FRACCIÓN No 2: ---

Prueba No		--	--	--
Peso en el aire muesta seca	(A) (g)	--	--	--
Peso en el aire S.S.S.	(B) (g)	--	--	--
Peso sumergida en Agua de la muestra saturada	(C) (g)	--	--	--
Gravedad específica bulk, Gsb		-- ± -- *	-- ± -- *	-- ± -- *
Gravedad específica bulk S.S.S., Gsb_{sss}		-- ± -- *	-- ± -- *	-- ± -- *
Gravedad específica aparente, Gsa		-- ± -- *	-- ± -- *	-- ± -- *
% Absorción		-- ± -- *	-- ± -- *	-- ± -- *
Temperatura Ambiente	Tx (ºC)	--	--	--

Gravedad específica verdadera bulk , Gprb	---	---	---
Gravedad específica verdadera bulk S.S.S., $Gprb_{sss}$	---	---	---
Gravedad específica verdadera aparente, Gpra	---	---	---
% Absorción de la muestra total	---	---	---

$$G_{sb} = \frac{A}{B - C} \qquad G_{sb\,sss} = \frac{B}{B - C} \qquad G_{sa} = \frac{A}{A - C} \qquad abs(\%) = \frac{B - A}{A}$$

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA CUEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

5/7

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J.Bogotá
Tel.: (57-1) 3208320 Ext 5268/69 Fax: Ext 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AG1-01 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 223-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13 **PROYECTO:** IDU 038-039

Referencia:	024 Y 025-3	Muestra:	Grava de 3/4" Fuente peña planta Ts Melgar
Localización:	-----	Fecha de Ensayo:	2013-02-28
Descripción:	Grava triturada, gris	Fecha de Recepción:	2013-02-14

FRACCIÓN No 1: 3/4" - N°4

Prueba No		1	--	--
Peso en el aire muesta seca	(A) (g)	7028.8	--	--
Peso en el aire S.S.S.	(B) (g)	7164.5	--	--
Peso sumergida en Agua de la muestra saturada	(C) (g)	4388.7	--	--
Gravedad específica bulk, Gsb		2.53 ± 0.01 *	-- ± -- *	-- ± -- *
Gravedad específica bulk S.S.S., Gsb_{sss}		2.58 ± 0.01 *	± -- *	-- ± -- *
Gravedad específica aparente, Gsa		2.66 ± 0.01 *	-- ± -- *	-- ± -- *
% Absorción		1.9 ± 0.24 *	-- ± -- *	-- ± -- *
Temperatura Ambiente	Tx (°C)	23	--	--

FRACCIÓN No 2: ---

Prueba No		--	--	--
Peso en el aire muesta seca	(A) (g)	--	--	--
Peso en el aire S.S.S.	(B) (g)	--	--	--
Peso sumergida en Agua de la muestra saturada	(C) (g)	--	--	--
Gravedad específica bulk, Gsb		-- ± -- *	-- ± -- *	-- ± -- *
Gravedad específica bulk S.S.S., Gsb_{sss}		-- ± -- *	-- ± -- *	-- ± -- *
Gravedad específica aparente, Gsa		-- ± -- *	-- ± -- *	-- ± -- *
% Absorción		-- ± -- *	-- ± -- *	-- ± -- *
Temperatura Ambiente	Tx (°C)	--	--	--

Gravedad específica verdadera bulk , Gprb	---	---	---
Gravedad específica verdadera bulk S.S.S., $Gprb_{sss}$	---	---	---
Gravedad específica verdadera aparente, Gpra	---	---	---
% Absorción de la muestra total	---	---	---

$$G_{sb} = \frac{A}{B - C} \qquad G_{sb_{sss}} = \frac{B}{B - C} \qquad G_{sa} = \frac{A}{A - C} \qquad abs(\%) = \frac{B - A}{A}$$

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-01

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J.Bogotá
Tel.: (57-1) 3208320 Ext 5268/69 Fax: Ext 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AG1-01 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 223-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13 **PROYECTO:** IDU 038-039

Referencia: 024 Y 025-4
Localización: -----
Descripción: Grava triturada, gris

Muestra: Grava de 1/2" Fuente aluvial Río Coello
Fecha de Ensayo: 2013-02-28
Fecha de Recepción: 2013-02-14

FRACCIÓN No 1: 1/2" - N°4

Prueba No		1	--	--
Peso en el aire muesta seca	(A) (g)	3475.3	--	--
Peso en el aire S.S.S.	(B) (g)	3577.6	--	--
Peso sumergida en Agua de la muestra saturada	(C) (g)	2171.1	--	--
Gravedad específica bulk, Gsb		2.47 ± 0.01 *	-- ± -- *	-- ± -- *
Gravedad específica bulk S.S.S., Gsb_{sss}		2.54 ± 0.01 *	± -- *	-- ± -- *
Gravedad específica aparente, Gsa		2.66 ± 0.01 *	-- ± -- *	-- ± -- *
% Absorción		2.9 ± 0.36 *	-- ± -- *	-- ± -- *
Temperatura Ambiente	Tx (°C)	23	--	--

FRACCIÓN No 2: ---

Prueba No		--	--	--
Peso en el aire muesta seca	(A) (g)	--	--	--
Peso en el aire S.S.S.	(B) (g)	--	--	--
Peso sumergida en Agua de la muestra saturada	(C) (g)	--	--	--
Gravedad específica bulk, Gsb		-- ± -- *	-- ± -- *	-- ± -- *
Gravedad específica bulk S.S.S., Gsb_{sss}		-- ± -- *	-- ± -- *	-- ± -- *
Gravedad específica aparente, Gsa		-- ± -- *	-- ± -- *	-- ± -- *
% Absorción		-- ± -- *	-- ± -- *	-- ± -- *
Temperatura Ambiente	Tx (°C)	--	--	--

Gravedad específica verdadera bulk , Gprb	---	---	---
Gravedad específica verdadera bulk S.S.S., $Gprb_{sss}$	---	---	---
Gravedad específica verdadera aparente, Gpra	---	---	---
% Absorción de la muestra total	---	---	---

$$G_{sb} = \frac{A}{B - C} \qquad G_{sb\,sss} = \frac{B}{B - C} \qquad G_{sa} = \frac{A}{A - C} \qquad abs(\%) = \frac{B - A}{A}$$

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOHANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

7/7

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-08

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO (AGREGADO GRUESO)

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AG1-09 — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 220-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025 -13 (11) — **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: P024 Y P025_2_3_4
Localización: -----
Descripción: Grava triturada gris
Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar)
Fecha Recepción: 2013-04-11
Fecha de Ensayo: 2013-05-02

Solución Utilizada: Sulfato de Sodio — No de Ciclos: 5

I. ANÁLISIS CUANTITATIVO

Fracción		Gradación	Peso inicial	No de partículas	Peso final	Pérdida de la fracción	Pérdida corregida	No de partículas
Pasa (pulg.)	Ret. (pulg.)	%	(g)	Inicial	(g)	(%)	(%)	Final
2 1/2	2							
2	1 1/2							
1 1/2	1							
1	3/4							
3/4	1/2	29,0	675,1	283,0	1006,2	0,00	0,0	283
1/2	3/8	20,0	331,1					
3/8	No 4	51,0	300,5	481,0	300,0	0,17	0,1	481
Nº 4	Nº 200	----	---	---	--	---	---	---
TOTALES		100,0	1306,7	764,0	1306,2	0,17	**0** ± 5,3E-03 *	

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP / DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

1/10

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-08

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO (AGREGADO GRUESO)

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AG1-09

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 220-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025 -13 (11) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: P024 Y P025_2_3_4
Localización: -----
Descripción: Grava triturada gris

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar)
Fecha Recepción: 2013-04-11
Fecha de Ensayo: 2013-05-02

Solución Utilizada: Sulfato de Sodio

No de Ciclos: 5

II. ANÁLISIS CUALITATIVO

CICLO	FRACCIÓN (pulg.)	No PARTICULAS INICIAL	NÚMERO DE PARTICULAS DESPUÉS DEL ENSAYO											
			BUEN ESTADO		ESCAMOSAS		AGRIETADAS		PARTIDAS		FORMACIÓN DE LAJAS		DESINTEGRADAS	
			No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
5	2 1/2" - 1 1/2"	---	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1 1/2" - 3/4"	--	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3/4" - 3/8"	283	281	99	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-
	3/8" - No 4	481	480	99,8	-	-	1	0	-	-	-	-	-	-

OBSERVACIONES:

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ Daniel MR
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

2/10

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-06

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69/99 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AG1-07

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 227-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13(11) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: P024 Y P025_2_3_4

Descripción: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar)

Fecha Recepción: 11/04/2013

Fecha de Ensayo: 2013-04-30

Masa total de la muestra de material grueso evaluada (g) : 1561

No de caras fracturadas especificado: ----

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	(g)	(g)	(g)	(g)	%
1	3/8	835,0	772,5	40,1	22,7	94,9
3/8	No 4	715,4	707,4	13,5	4,5	98,4

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS (%) = **97** ± 2,418 *

A Masa total de la fracción (g)

B Masa o número de particulas fracturadas con al menos el Nº de caras fracturadas especificado (g)

C Masa o número de particulas fracturadas dudosas (g)

D Masa o número de particulas no fracturadas (g)

E Porcentaje de caras fracturadas por fracción

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

9/10

PARTÍCULAS PLANAS, ALARGADAS O PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS GRUESOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AG1-17 — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO INV E 240-07

CÓDIGO ORDEN:	P024 Y P025 - 13(11)	PROYECTO:	IDU 038 Y 039

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar)
Descripción: Grava gris triturada.

Referencia: P024 Y P025 -5_6_7
Fecha Recepción: 2013-04-11
Fecha de Ensayo: 2013-04-30

I. GRADACIÓN MUESTRA ORIGINAL Y FRACCIÓN SELECCIONADA

Pasa - Retiene		% retenido granulometría original	Fracción seleccionada	
(pg)	(mm)		Peso de la fracción (g)	Número de partículas
2" - 1½"	50.8 - 38.1	0	0	0
1½" - 1"	38.1 - 25.4	0	0	0
1" - 3/4"	25.4 - 19.1	0	0	0
3/4" - 1/2"	19.1 - 12.5	12,5	804,6	46
1/2" - 3/8"	12.5 - 9.5	8,5	493,8	243
3/8" - No. 4	9.5 - 4.75	22	1350,3	2240

RELACIÓN DE DIMENSIONES 1:5

II. PORCENTAJE DE PARTICULAS PLANAS, ALARGADAS Y PLANAS Y ALARGADAS DE LA FRACCIÓN SELECCIONADA

Pasa - Retiene		Tipo de partículas					
		Planas		Alargadas		Planas y alargadas	
(pg)	(mm)	% en peso	% en nùmero	% en peso	% en nùmero	% en peso	% en nùmero
2" - 1½"	50.8 - 38.1	---	---	---	---	---	---
1½" - 1"	38.1 - 25.4	---	---	---	---	---	---
1" - 3/4"	25.4 - 19.1	--	---	---	---	---	---
3/4" - 1/2"	19.1 - 12.5	0%	0%	0%	0%	2%	4%
1/2" - 3/8"	12.5 - 9.5	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3/8" - No. 4	9.5 - 4.75	0%	0%	0%	0%	1%	1%

III. PROMEDIO PONDERADO EN PESO DE PARTICULAS PLANAS, ALARGADAS Y PLANAS Y ALARGADAS DE LA MUESTRA ORIGINAL

	Planas	Alargadas	Planas y alargadas
PROMEDIO PONDERADO (%)	**0,0% ± 0,00%***	**0,0% ± 0,00%***	**0,8% ± 0,39%***

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

10/10

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-05

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO Y FINO

INFORME DE ENSAYO

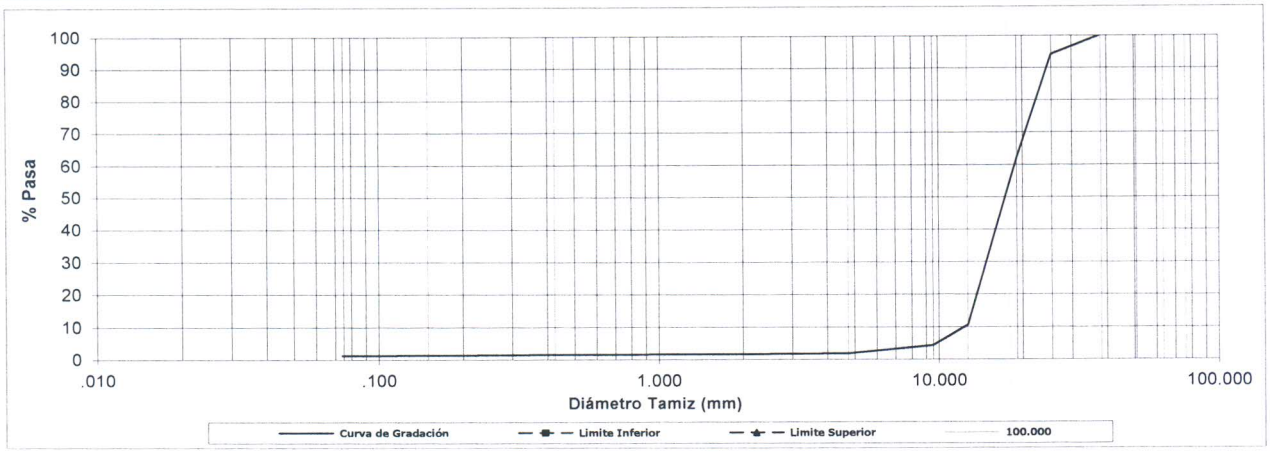
INSTRUCTIVO DE ENSAYO No.: IE-AG1-06 — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 213-07

CÓDIGO ORDEN: P024 y P025 -13 (6) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: 024 y 025 - 2
Localización: -----
Descripción: Grava gris.

Muestra: Grava 1", Fuente Aluvial Rio Coello
Fecha Recepción: 2012-03-18
Fecha de Ensayo: 2013-04-02

ABER. DEL TAMIZ		Peso RET.	(%)	(%)	(%)	ESPECIFICACIÓN	
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA	Límite superior	Límite inferior
37.50	1½"	0.0	0.0	0.0	100.0 ± 0.0 *		
25.40	1"	734.4	5.8	5.8	94.2 ± 0.0 *		
19.000	3/4"	4139.6	32.5	38.3	61.7 ± 0.0 *		
12.700	1/2"	6507.5	51.1	89.3	10.7 ± 0.0 *		
9.530	3/8"	806.1	6.3	95.7	4.3 ± 0.0 *		
4.750	N°4	307.5	2.4	98.1	1.9 ± 0.0 *		
2.000	N°10	28.6	0.2	98.3	1.7 ± 0.0 *		
0.425	N°40	10.0	0.1	98.4	1.6 ± 0.0 *		
0.180	N°80	19.5	0.2	98.5	1.5 ± 0.1 *		
0.074	N°200	22.3	0.2	98.7	1.3 ± 0.1 *		
fondo		165.1	1.3	100	---		



Peso inicial seco sin lavar: 12740.6 g
Peso seco final lavado 12577.5 g

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OSEDA
CALCULO:TECNOLOGO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: ING DE LABORATORIO

1/6

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-05

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO Y FINO

INFORME DE ENSAYO

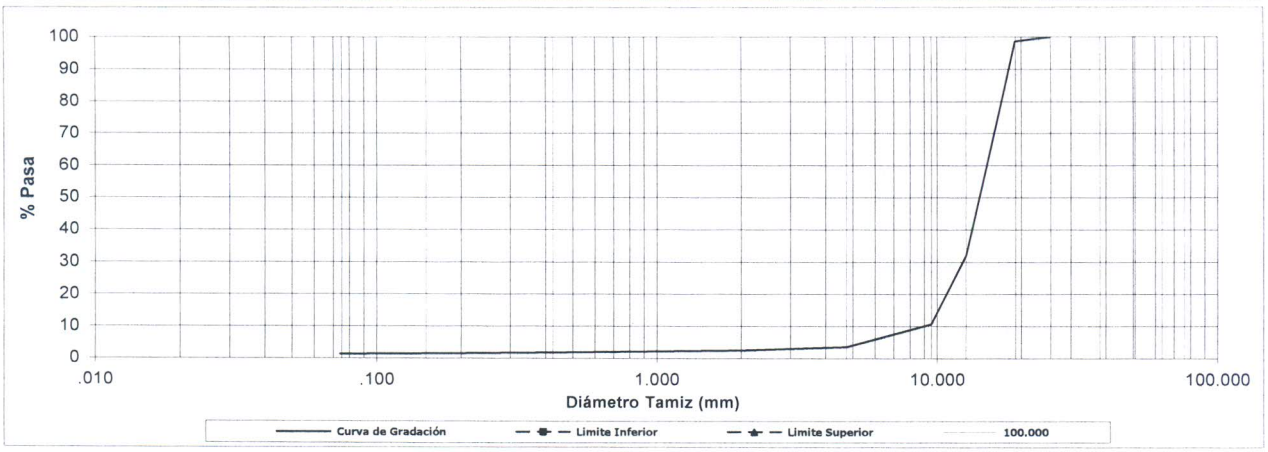
INSTRUCTIVO DE ENSAYO No.: IE-AG1-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 213-07

CÓDIGO ORDEN: P024 y P025 -13 (6) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: 024 y 025 - 3
Localización: ------
Descripción: Grava gris.

Muestra: Grava ¾", Fuente Peña Planta TS Melgar.
Fecha Recepción: 2012-03-18
Fecha de Ensayo: 2013-04-02

ABER. DEL TAMIZ (mm)	(pulg)	Peso RET. (g)	(%) RETENIDO	(%) RET. ACUM.	(%) PASA				ESPECIFICACIÓN Límite superior	Límite inferior
25.40	1"	0.0	0.0	0.0	100.0	±	0.0	*		
19.000	3/4"	122.2	1.4	1.4	98.6	±	0.0	*		
12.700	1/2"	5613.0	66.5	67.9	32.1	±	0.1	*		
9.530	3/8"	1810.3	21.4	89.3	10.7	±	0.1	*		
4.750	N°4	596.7	7.1	96.4	3.6	±	0.0	*		
2.000	N°10	90.0	1.1	97.5	2.5	±	0.0	*		
0.425	N°40	59.8	0.7	98.2	1.8	±	0.0	*		
0.180	N°80	24.2	0.3	98.5	1.5	±	0.1	*		
0.074	N°200	18.4	0.2	98.7	1.3	±	0.1	*		
fondo		112.2	1.3	100	---					



Peso inicial seco sin lavar: 8446.8 g
Peso seco final lavado 8340.8 g

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULO:TECNOLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: ING DE LABORATORIO

2/6

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-05

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO Y FINO

INFORME DE ENSAYO

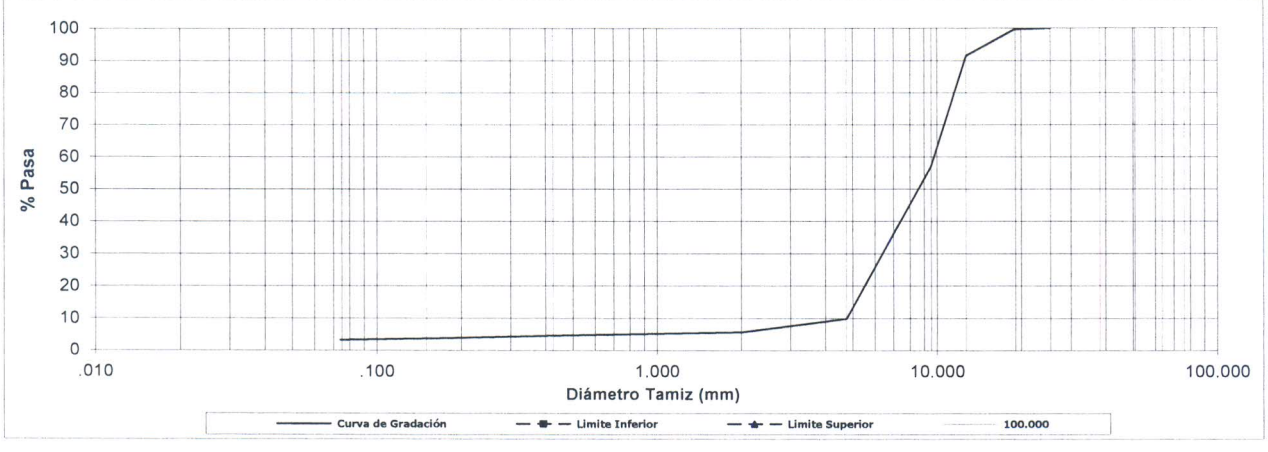
INSTRUCTIVO DE ENSAYO No.: IE-AG1-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 213-07

CÓDIGO ORDEN: P024 y P025 -13 (6) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: 024 y 025 - 4
Localización: -----
Descripción: Grava gris.

Muestra: Grava ½", Fuente Aluvial Río Coello
Fecha Recepción: 2012-03-18
Fecha de Ensayo: 2013-04-02

ABER. DEL TAMIZ		Peso RET.	(%)	(%)	(%)		ESPECIFICACIÓN	
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA		Límite superior	Límite inferior
25.40	1"	0.0	0.0	0.0	100.0	± 0.0 *		
19.000	3/4"	12.4	0.3	0.3	99.7	± 0.0 *		
12.700	1/2"	340.6	8.2	8.5	91.5	± 0.2 *		
9.530	3/8"	1436.2	34.4	42.9	57.1	± 0.4 *		
4.750	N°4	1969.5	47.2	90.1	9.9	± 0.1 *		
2.000	N°10	173.5	4.2	94.3	5.7	± 0.0 *		
0.425	N°40	44.3	1.1	95.4	4.6	± 0.1 *		
0.180	N°80	31.7	0.8	96.1	3.9	± 0.2 *		
0.074	N°200	26.6	0.6	96.8	3.2	± 0.2 *		
fondo		135.3	3.2	100	---			



Peso inicial seco sin lavar: 4170.1 g
Peso seco final lavado 4039.5 g

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULO: TECNÓLOGO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: ING DE LABORATORIO

3/6

ANEXO C. Caracterización de agregados finos

En este Anexo se encuentran los resultados de los ensayos de caracterización de agregados finos listados a continuación:

- Límite líquido de los suelos.
- Límite plástico e índice de plasticidad.
- Equivalente de arena.
- Peso específico y absorción de los agregados finos.
- Equivalente de arena de los agregados finos correspondientes a la gradación de una mezcla MD12.
- Determinación del contenido aproximado de materia orgánica.
- Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio - solidez (5 ciclos).
- Valor de azul de metileno en agregados finos y en llenante mineral.
- Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados.

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO GT1-03

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÌA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext 5373/99/69/68 Fax: Ext 5373

LIMITES DE CONSISTENCIA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-GT1-03 / IE-GT1-04 / IE-GT1-05

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E122-07 / INV E 125-07 / INV E 126-07

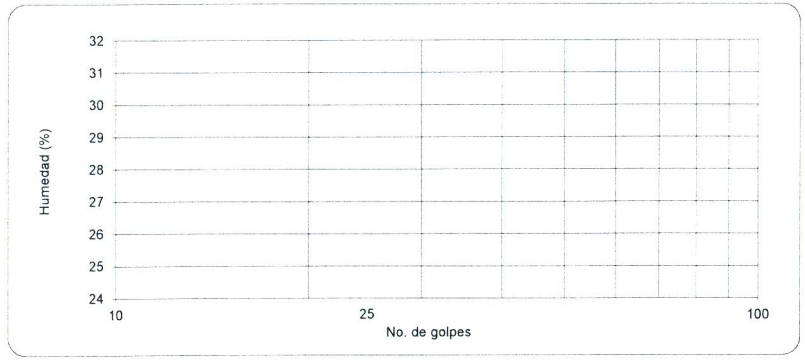
CODIGO ORDEN: P024 Y P025-13	PROYECTO: IDU 038-039

Muestra: Arena triturada, Fuente aluvial Río Coello
Descripción: Visual: Arena con grava, gris
Profundidad: ---

Referencia: 024 Y 025-5
Fecha Recepción: 2013-02-14
Fecha de Ensayo: 2013-02-28

1. LÍMITE LÍQUIDO

Número de golpes	----	----	----
Vidrio No	----	----	----
$W_{rmh,}$ (g)	----	----	----
$W_{rms,}$ (g)	----	----	----
$W_{rl,}$ (g)	----	----	----
Humedad, w (%)	**NL**	**NL**	**NL**



2. LÍMITE PLÁSTICO Y HUMEDAD NATURAL(Wn)

Ensayo No.	1	2	Wn
Vidrio No	----	----	----
$W_{rmh,}$ (g)	----	----	----
$W_{rms,}$ (g)	----	----	----
$W_{rl,}$ (g)	----	----	----
Humedad (%)	**NP**	**NP**	----

3. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO

Límite Líquido : NL % ± --- *
Límite Plástico : NP % ± --- *
Índice Plasticidad : NP % ± --- *
Humedad Natural ---- % ± ---- *

Gravas: ---- %
Arenas: ---- %
Finos: ---- %
USC : ----
Índice de Grupo : ----
AASHTO : ----

OBSERVACIONES

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

pp/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

31/2

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO GT1-03

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÌA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext 5373/99/69/68 Fax: Ext 5373

LIMITES DE CONSISTENCIA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-GT1-03 / IE-GT1-04 / IE-GT1-05

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E122-07 / INV E 125-07 / INV E 126-07

CODIGO ORDEN: P024 Y P025-13

PROYECTO: IDU 038-039

Muestra: Arena natural, Fuente aluvial Río Coello

Descripción: Visual: Arena con grava, gris

Profundidad: ---

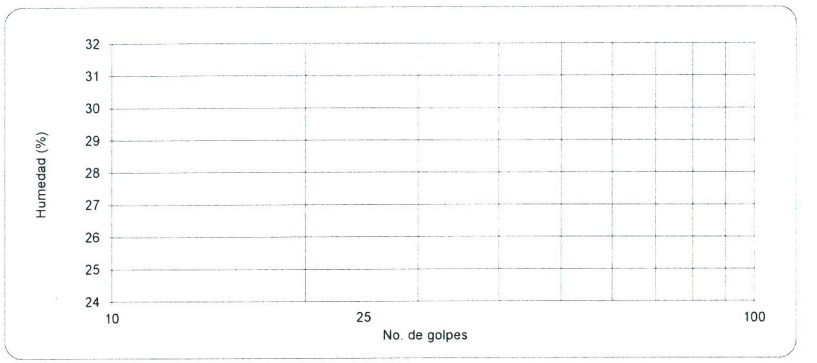
Referencia: 024 Y 025-6

Fecha Recepción: 2013-02-14

Fecha de Ensayo: 2013-02-28

1. LÍMITE LÍQUIDO

Número de golpes	----	----	----
Vidrio No	----	----	----
$W_{rmh,}$ (g)	----	----	----
$W_{rms,}$ (g)	----	----	----
$W_{rl,}$ (g)	----	----	----
Humedad, w (%)	**NL**	**NL**	**NL**



2. LÍMITE PLÁSTICO Y HUMEDAD NATURAL(Wn)

Ensayo No.	1	2	Wn
Vidrio No	----	----	----
$W_{rmh,}$ (g)	----	----	----
$W_{rms,}$ (g)	----	----	----
$W_{rl,}$ (g)	----	----	----
Humedad (%)	**NP**	**NP**	----

3. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO

Límite Líquido : NL % ± --- *

Límite Plástico : NP % ± --- *

Índice Plasticidad : NP % ± --- *

Humedad Natural ---- % ± ---- *

Gravas: ---- %

Arenas: ---- %

Finos: ---- %

USC : ----

Índice de Grupo : ----

AASHTO : ----

OBSERVACIONES

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA

CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ

REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

3/3

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO GT1-03

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÌA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext 5373/99/69/68 Fax: Ext 5373

LIMITES DE CONSISTENCIA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-GT1-03 / IE-GT1-04 / IE-GT1-05

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E122-07 / INV E 125-07 / INV E 126-07

CODIGO ORDEN: P024 Y P025-13

PROYECTO: IDU 038-039

Muestra: Arena de peña, Fuente planta Ivercot Soacha

Descripción: Visual: Arena amarilla

Profundidad: ---

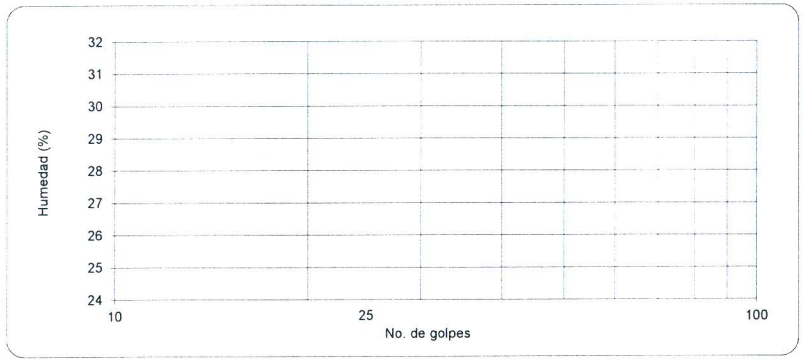
Referencia: 024 Y 025-7

Fecha Recepción: 2013-02-14

Fecha de Ensayo: 2013-02-28

1. LÍMITE LÍQUIDO

Número de golpes	----	----	----
Vidrio No	----	----	----
W_{rmh}, (g)	----	----	----
W_{rms}, (g)	----	----	----
W_{rl}, (g)	----	----	----
Humedad, w (%)	**NL**	**NL**	**NL**



2. LÍMITE PLÁSTICO Y HUMEDAD NATURAL(Wn)

Ensayo No.	1	2	Wn
Vidrio No	----	----	----
W_{rmh}, (g)	----	----	----
W_{rms}, (g)	----	----	----
W_{rl}, (g)	----	----	----
Humedad (%)	**NP**	**NP**	----

3. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO

Límite Líquido : NL % ± --- *

Límite Plástico : NP % ± --- *

Índice Plasticidad : NP % ± --- *

Humedad Natural ---- % ± ---- *

Gravas: ---- %

Arenas: ---- %

Finos: ---- %

USC : ----

Índice de Grupo : ----

AASHTO : ----

OBSERVACIONES

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOMAIRA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

4/13

EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AG1-10 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 133-07

Suplemento al informe LAB_P024-P025_13(3) de fecha 08 de Marzo de 2013

CODIGO ORDEN: P024 Y P025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Fecha de Ensayo: 2013-03-07	Fecha de Recepción: 2013-02-14

Referencia	024 Y 025-6		
Muestra	Arena natural, Fuente aluvial Río Coello		
Localización	----		
Descripcion	Visual: Arena con grava, gris		
Prueba No	1	2	3
A = Lectura de arena	4.0	3.7	3.8
B = Lectura de arcilla	5.1	4.8	5.2
A/B x 100 (%)	**79.0**	**78.0**	**74.0**

EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO (%) **77.0** ± **3.88** *

OBSERVACIONES: _____

Referencia	024 Y 025-7		
Muestra	Arena de peña, Fuente planta Ivercot Soacha		
Localización	----		
Descripcion	Visual: Arena amarilla		
Prueba No	1	2	3
A = Lectura de arena	2.8	2.9	2.9
B = Lectura de arcilla	13.0	12.7	12.6
A/B x 100 (%)	**22.0**	**23.0**	**24.0**

EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO (%) **23.0** ± **1.16** *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2

YOLANDA OZEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-02

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J.Bogotá
Tel.: (57-1) 3208320 Ext 5268/69 Fax: Ext 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AG1-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 222-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13 **PROYECTO:** IDU 038-039

Referencia: 024 Y 025-5 Muestra: Arena triturada, Fuente aluvial Río Coello

Localización: ---- Fecha Recepción: 2013-02-14

Descripción: Visual: Arena con grava, gris Fecha de Ensayo: 2013-03-04

Prueba No	1	2	
Picnómetro No	60	70	
Masa en el aire, muesta seca al horno (A) (g)	490.90	491.40	
Masa del picnómetro aforado lleno de agua (B) (g)	657.84	662.19	
Masa del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua (C) (g)	962.20	967.90	
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (S) (g)	500.1	500	
Gravedad específica bulk, Gsb $_{23/23°C}$ sp (g) A / (B +S- C)	2.508 ± 0.020 *	2.529 ± 0.020 *	± *
Gravedad específica bulk saturada y superficialmente seca, Gsbsss $_{23/23°C}$ sp (g) S / (B +S- C)	2.555 ± 0.022 *	2.574 ± 0.022 *	± *
Gravedad específica aparente, Gsa $_{23/23°C}$ sp (g) A / (B +A- C)	2.632	2.646	
% Absorción (S - A) / A *100	1.87 ± 0.02 *	1.75 ± 0.02 *	± *
Tx (°C) Temperatura Ambiente	23.0	23.0	

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

OVANY OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

2/7

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-02

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J.Bogotá
Tel.: (57-1) 3208320 Ext 5268/69 Fax: Ext 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AG1-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 222-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13 **PROYECTO:** IDU 038-039

Referencia: 024 Y 025-6 Muestra: Arena natural, Fuente aluvial Río Coello

Localización: ---- Fecha Recepción: 2013-02-14

Descripción: Visual: Arena con grava, gris Fecha de Ensayo: 2013-03-04

Prueba No	1	2	
Picnómetro No	60	70	
Masa en el aire, muesta seca al horno (A) (g)	491.70	491.80	
Masa del picnómetro aforado lleno de agua (B) (g)	657.84	662.19	
Masa del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua (C) (g)	961.90	965.20	
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (S) (g)	500	500	
Gravedad específica bulk, $Gsb_{23/23^{\circ}C}$ sp (g) A / (B +S- C)	2.509 ± 0.020 *	2.497 ± 0.020 *	± *
Gravedad específica bulk saturada y superficialmente seca, $Gsbsss_{23/23^{\circ}C}$ sp (g) S / (B +S- C)	2.552 ± 0.022 *	2.538 ± 0.022 *	± *
Gravedad específica aparente, $Gsa_{23/23^{\circ}C}$ sp (g) A / (B +A- C)	2.620	2.605	
% Absorción (S - A) / A *100	1.69 ± 0.02 *	1.67 ± 0.02 *	± *
Tx (°C) Temperatura Ambiente	23.0	23.0	

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

3/7

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-02

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO INGENIERIA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J.Bogotá
Tel.: (57-1) 3208320 Ext 5268/69 Fax: Ext 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AG1-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 222-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13 **PROYECTO:** IDU 038-039

Referencia: 024 Y 025-7 Muestra: 'Arena de peña, Fuente planta Ivercot Soacha

Localización: ---- Fecha Recepción: 2013-02-14

Descripción: Visual: Arena amarilla Fecha de Ensayo: 2013-03-04

Prueba No		1	2	
Picnómetro No		60	70	
Masa en el aire, muesta seca al horno	(A) (g)	492.10	492.00	
Masa del picnómetro aforado lleno de agua	(B) (g)	657.84	662.19	
Masa del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua	(C) (g)	958.60	964.30	
Masa de la muestra saturada superficialmente seca	(S) (g)	500	500	
Gravedad específica bulk, $Gsb_{23/23°C}$ sp (g) A / (B +S- C)		2.470 ± 0.020 *	2.486 ± 0.020 *	± *
Gravedad específica bulk saturada y superficialmente seca, $Gsbsss_{23/23°C}$ sp (g) S / (B +S- C)		2.510 ± 0.022 *	2.527 ± 0.022 *	± *
Gravedad específica aparente, $Gsa_{23/23°C}$ sp (g) A / (B +A- C)		2.572	2.591	
% Absorción (S - A) / A *100		1.61 ± 0.02 *	1.63 ± 0.02 *	± *
Tx (°C) Temperatura Ambiente		23.0	23.0	

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

COVARRUBIAS OVIEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

4/7

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-10

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AG1-10

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 133-07

CODIGO ORDEN: P024 Y P025-13(11) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Fecha de Ensayo: 2013-05-02 Fecha de Recepción: 2013-04-11

Referencia	P024 Y P025_5_6_7		
Muestra	Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha).		
Localización	---		
Descripcion	Arena gris fina		
Prueba No	1	2	3
A = Lectura de arena	4,0	4,0	4,0
B = Lectura de arcilla	5,0	4,9	5,0
A/B x 100 (%)	**80,0**	**82,0**	**80,0**

EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO (%) **81,0** ± **4,08** *

OBSERVACIONES:

Referencia	----		
Muestra	---		
Localización	---		
Descripcion	----		
Prueba No	1	2	3
A = Lectura de arena	----	----	----
B = Lectura de arcilla	----	----	----
A/B x 100 (%)	**----**	**----**	**----**

EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO (%) **----** ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansión k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

4/10

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J.Bogotá
Tel.: (57-1) 3208320 Ext 5268/69 Fax: Ext 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AG1-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 222-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13(11) **PROYECTO:** IDU 038 y 039.

Referencia: P024 Y P025_5_6_7 Muestra: Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha).

Localización: ---- Fecha Recepción: 2013-04-11

Descripción: Arena gris. Fecha de Ensayo: 2013-05-02

Prueba No		1		
Picnómetro No		8		
Masa en el aire, muesta seca al horno	(A) (g)	494,40		
Masa del picnómetro aforado lleno de agua	(B) (g)	675,05		
Masa del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua	(C) (g)	983,50		
Masa de la muestra saturada superficialmente seca	(S) (g)	500		
Gravedad específica bulk, $Gsb_{23/23°C}$ sp (g) A / (B +S- C)		2,581 ± 0,021 *	± *	± *
Gravedad específica bulk saturada y superficialmente seca, $Gsbsss_{23/23°C}$ sp (g) S / (B +S- C)		2,610 ± 0,022 *	± *	± *
Gravedad específica aparente, $Gsa_{23/23°C}$ sp (g) A / (B +A- C)		2,659		
% Absorción (S - A) / A *100		1,13 ± 0,01 *	± *	± *
Tx (°C) Temperatura Ambiente		23,0		

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

8/10

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-14

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69/99 Fax: Ext. 5373

CONTENIDO APROXIMADO DE MATERIA ORGÁNICA EN ARENAS USADAS EN LA PREPARACIÓN DE MORTEROS O CONCRETOS (MÉTODO COLORIMÉTRICO)

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: ---

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: I.N.V. E - 212

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13(11)	**PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia:	P024 Y P025_5_6_7	**Muestra:**	Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha).
Localización:	---	**Fecha de recepción:**	2013-04-11
Descripción:	Arena gris.	**Fecha de ensayo:**	2013-04-30

I. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

MATERIA ORGÁNICA No. 1 Método Alterno B

Número de referencia orgánica.	1	2	3*	4	5

* Color normal de referencia.

OBSERVACIONES: _____

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:CORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING.DE LABORATORIO

6/10

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-09

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO (AGREGADO FINO)

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AG1-09

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 220-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13(11) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: P024 Y P025_5_6_7
Localización: ---
Descripción: Arena gris de rio.

Muestra: Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha).
Fecha Recepción: 2013-04-11
Fecha de Ensayo: 2013-05-02

Solución Utilizada: Sulfato de sodio

No de Ciclos: 5

ANÁLISIS CUANTITATIVO

FRACCIÓN Pasa (pulg.)	FRACCIÓN Retiene (pulg.)	Gradación (%)	Peso inicial (g)	Peso Final (g)	Pérdida de la fracción (%)	Pérdida corregida (%)
2 1/2"	3/8	----	----	----	----	----
3/8	No 4	32,3	106,5	106,5	0,0	0,0
No 4	No 8	25,0	107	105,3	1,6	0,4
No 8	No 16	7,4	107,6	106,3	1,2	0,1
No 16	No 30	25,0	105,2	103,4	1,7	0,4
No 30	No 50	10,3	107,4	106,3	1,0	0,1
TOTALES		100,0	533,7	527,8	5,5	**1,0** ± **0,230** *

OBSERVACIONES: El porcentaje de gradación reportado fue recalculado con respecto a la granulometria original considerando la fracción fina como el 100% del material.

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

3/10

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AG1-19

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax Ext. 5373

VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS Y EN LLENANTES MINERALES

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AG1-16 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 235-07

CODIGO ORDEN: P024 Y P025-13(11)	**PROYECTO:** IDU 038 Y 039
Fecha de Ensayo: 2013-04-26	**Fecha Recepción:** 2012-06-19

Referencia	P024 Y P025-5_6_7	P024 Y P025-5_6_7
Apique	----	----
Muestra	Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha).	Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha).
Profundidad (m)	-----	----
Localización	---	---
Descripción	Arena gris	Arena gris
Solución de Azul de Metileno requerida en la titulación (V) (ml)	10	10
Material seco utilizado en la prueba (W) (g)	10.0	10.0
Valor de Azul de Metileno en mg de azul por gramo de material seco pasa tamiz N° 200 (VA) ((5*V)/W)	**5.0**	**5.0**

OBSERVACIONES: _____

Referencia	----	----
Apique	----	----
Muestra	---	----
Profundidad (m)	-----	----
Localización	---	----
Descripción	----	----
Solución de Azul de Metileno requerida en la titulación (V) (ml)	----	----
Material seco utilizado en la prueba (W) (g)	----	----
Valor de Azul de Metileno en mg de azul por gramo de material seco pasa tamiz N° 200 (VA) ((5*V)/W)	----	----

OBSERVACIONES: _____

JESSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

5/10

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AG1-18

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

CONTENIDO DE VACÍOS EN AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS - MÉTODO A

(INFLUENCIADO POR LA FORMA DE LAS PARTÍCULAS, TEXTURA DE LA SUPERFICIE Y GRADACIÓN)

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AG1-18

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO INV E 239-07

CÓDIGO ORDEN:	P024 Y P025-13(11)	**PROYECTO:**	IDU 038 Y 039
Muestra:	Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha).	Referencia:	P024 Y P025-5_6_7
Descripción:	Arena gris	Fecha Recepción:	2013-04-11
		Fecha de Ensayo:	2013-05-03

Número de Prueba		1	2
Gravedad específica del agregado fino	(G)	2.581	
Volumen del medidor cilíndrico, *ml*	(V)	100	
Masa del medidor cilíndrico, *g*		259.4	259.4
Masa del medidor cilíndrico más muestra, *g*		395.5	395.8
Masa neta del agregado fino en el medidor, *g*	(F)	136.1	136.4
Vacios del agregado fiino sin compactar, *%*	(U_s)	47.3%	47.2%

PROMEDIO U_S (%) **47.2%** ± **0.20%** *

$$\%U_s = \frac{V - (F / G)}{V} \times 100$$

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-05

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO Y FINO

INFORME DE ENSAYO

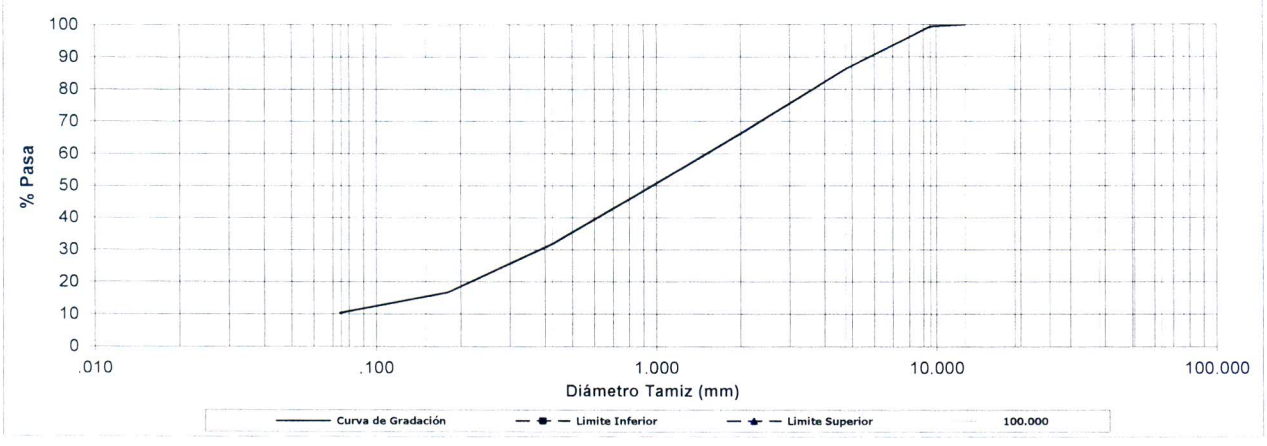
INSTRUCTIVO DE ENSAYO No.: IE-AG1-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 213-07

CÓDIGO ORDEN: P024 y P025 -13 (6) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: 024 Y 025 - 5
Localización: ----
Descripción: Arena gris.

Muestra: Arena triturada, Fuente Aluvial Rio Coello
Fecha Recepción: 2012-03-18
Fecha de Ensayo: 2013-04-02

ABER. DEL TAMIZ (mm)	(pulg)	Peso RET. (g)	(%) RETENIDO	(%) RET. ACUM.	(%) PASA				ESPECIFICACIÓN Límite superior	Límite inferior
12.700	1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	±	0.3	*		
9.530	3/8"	9.8	0.6	0.6	99.4	±	0.7	*		
4.750	N°4	216.2	13.1	13.7	86.3	±	1.2	*		
2.000	N°10	329.7	20.0	33.7	66.3	±	0.2	*		
0.425	N°40	568.5	34.5	68.2	31.8	±	0.4	*		
0.180	N°80	247.9	15.0	83.2	16.8	±	0.7	*		
0.074	N°200	105.4	6.4	89.6	10.4	±	0.7	*		
fondo		170.7	10.4	100	---					



Peso inicial seco sin lavar: 1648.2 g
Peso seco final lavado 1483.1 g

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ:TECNÓLOGO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: ING DE LABORATORIO

4/6

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-05

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO Y FINO

INFORME DE ENSAYO

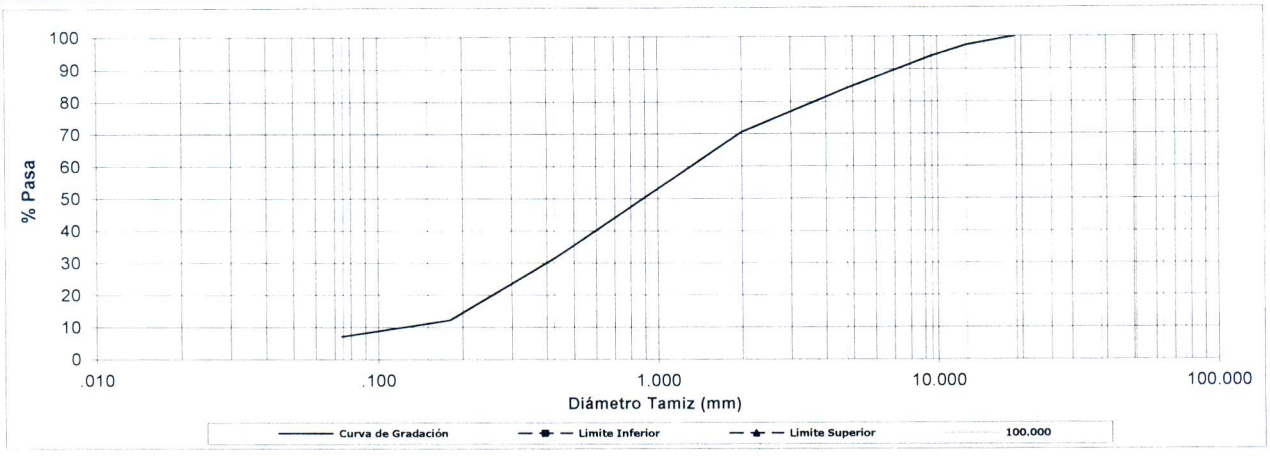
INSTRUCTIVO DE ENSAYO No.: IE-AG1-06 — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 213-07

CÓDIGO ORDEN: P024 y P025 -13 (6) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: 024 Y 025 - 6
Localización: ----
Descripción: Arena gris.

Muestra: Arena natural, Fuente Aluvial Río Coello
Fecha Recepción: 2012-03-18
Fecha de Ensayo: 2013-04-02

ABER. DEL TAMIZ (mm)	(pulg)	Peso RET. (g)	(%) RETENIDO	(%) RET. ACUM.	(%) PASA	ESPECIFICACIÓN Límite superior	Límite inferior
19.000	3/4"	0.0	0.0	0.0	100.0 ± 0.0 *		
12.700	1/2"	35.8	2.7	2.7	97.3 ± 0.2 *		
9.530	3/8"	44.7	3.3	6.0	94.0 ± 0.6 *		
4.750	N°4	131.4	9.8	15.9	84.1 ± 1.1 *		
2.000	N°10	179.1	13.4	29.3	70.7 ± 0.2 *		
0.425	N°40	525.2	39.3	68.6	31.4 ± 0.4 *		
0.180	N°80	255.9	19.2	87.8	12.2 ± 0.5 *		
0.074	N°200	67.8	5.1	92.9	7.1 ± 0.5 *		
fondo		94.8	7.1	100	---		



Peso inicial seco sin lavar: 1334.7 g
Peso seco final lavado 1241.8 g

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULO: TECNOLOGO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: ING DE LABORATORIO

5/6

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AG1-05

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO Y FINO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO No.: IE-AG1-06

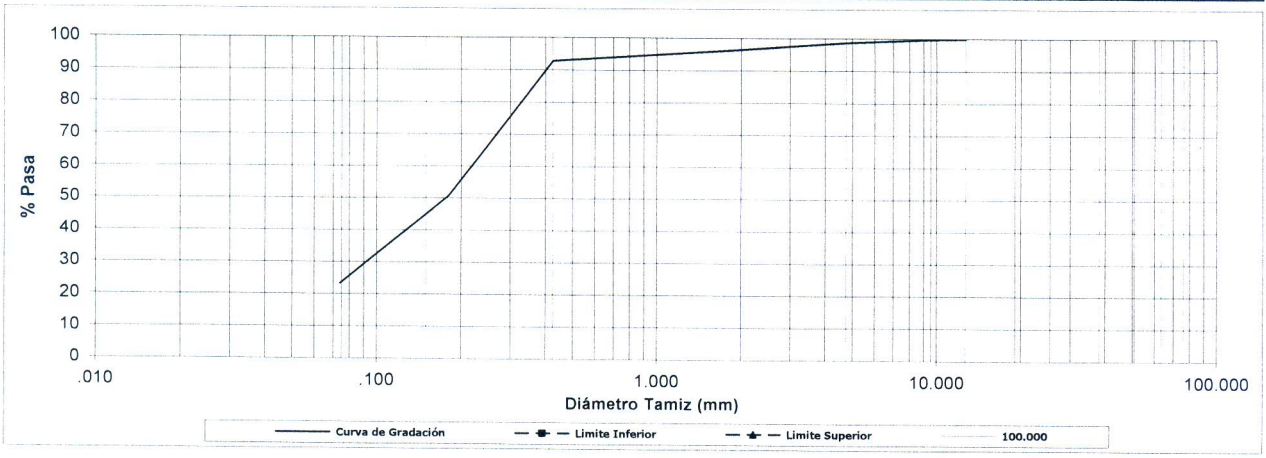
PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 213-07

CÓDIGO ORDEN: P024 y P025 -13 (6) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: 024 Y 025 - 7
Localización: ----
Descripción: Arena amarilla.

Muestra: Arena de peña, Fuente Planta Ivercot Soacha
Fecha Recepción: 2012-03-18
Fecha de Ensayo: 2013-04-02

ABER. DEL TAMIZ		Peso RET.	(%)	(%)	(%)			ESPECIFICACIÓN	
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA			Límite superior	Límite inferior
12.700	1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	± 0.3	*		
9.530	3/8"	2.1	0.2	0.2	99.8	± 0.7	*		
4.750	N°4	10.0	1.1	1.3	98.7	± 1.3	*		
2.000	N°10	21.5	2.3	3.6	96.4	± 0.3	*		
0.425	N°40	34.4	3.7	7.3	92.7	± 1.2	*		
0.180	N°80	394.3	42.1	49.3	50.7	± 2.0	*		
0.074	N°200	257.3	27.5	76.8	23.2	± 1.7	*		
fondo		217.6	23.2	100	---				



Peso inicial seco sin lavar: 937.2 g
Peso seco final lavado 729.9 g

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULO: TECNOLOGO

PP/ Daniel M.R.
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: ING DE LABORATORIO

6/6

ANEXO D. Caracterización del ligante asfáltico Barrancabermeja 60-70

En este Anexo se encuentran los resultados de los ensayos de caracterización del ligante asfáltico Barrancabermeja 60-70 listados a continuación:

- Penetración de los materiales asfálticos.
- Índice de penetración.
- Ductilidad de los materiales asfálticos y Punto de ablandamiento de materiales bituminosos.
- Gravedad específica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos.
- Método para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional.
- Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento.
- Medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico.
- Penetración de los materiales asfálticos al residuo envejecido en RTFO.
- Índice de penetración al residuo envejecido en RTFO.
- Punto de ablandamiento de materiales bituminosos al residuo envejecido en RTFO.

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF1-03

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-04 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 706-07

CÓDIGO ORDEN: P024-13 y P025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Referencia: 024 Y 025-1	Fecha Recepción: 2013-02-14
Muestra: Cemento asfáltico de Barrancabermeja 60/70	Fecha de Ensayo: 2013-02-20

Descripción: Cemento asfáltico

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	25	69	69	68	69 ± 0.50 *
2	25	68	67	68	68 ± 0.49 *

Carga (g) : 100 Tiempo (s): 5

OBSERVACIONES:

Descripción:

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	----	----	----	----	---- ± ----
2	----	----	----	----	---- ± ----

Carga (g) : ---- Tiempo (s): ----

OBSERVACIONES:

Descripción:

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	----	----	----	----	---- ± ----
2	----	----	----	----	---- ± ----

Carga (g) : ---- Tiempo (s): ----

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.}

JOHANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

4/8

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

FORMATO AF1-09

INDICE DE PENETRACIÓN DE CEMENTOS ASFALTICOS

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: I.N.V E-724-07

CÓDIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Referencia: 024 Y 025-1	Fecha de Recepción: 2013-02-14
Descripción: Cemento asfáltico de Barrancabermeja 60/70	Fecha de Ensayo: 2013-02-20

1. DATOS

Punto de ablandamiento (°C)	t_{RaB}	51.3
Penetración a 25°C (0,1 mm)	P	68.5

2. CALCULOS

INDICE DE PENETRACIÓN (I_P)

$$I_P = \frac{20 \times t_{RaB} + 500 \times \log P - 1952}{t_{RaB} - 50 \times \log P + 120}$$

I_P = -0.103

OBSERVACIONES: _____

YOVANA OJEDA
CALCULO: TECNOLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: ING DE LABORATORIO

5/8.

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF1-02

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-02 IE-AF1- 03 / IE-AF1-05 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 702-07 INV E 709-07 INV E 712-07

CÓDIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Referencia: 024 Y 025-1	Fecha Recepción: 2013-02-14
Descripción: Cemento asfáltico de Barrancabermeja 60/70	Fecha de Ensayo: 2013-02-20

I. DUCTILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS (INV E-702-07)

Prueba No.	Temperatura (°C)	Velocidad (mm/min)	Ductilidad (cm)
1	25.0	50	100 ± 0.00 *
2	25.0	50	100 ± 0.00 *
3	---	---	--- ± ---- *

OBSERVACIONES: _____

II. PUNTO DE IGNICIÓN Y LLAMA MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND (INV E-709-07)

Prueba No.		1	2	3
Temperatura punto de ignición	A (°C)	---	---	---
Temperatura punto de llama	B (°C)	---	---	---
Presión Barométrica	P (mmHg)	---	---	---
Punto de Ignición [A+0,033*(760-P)]	(°C)	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *
Punto de Llama [B+0,033*(760-P)]	(°C)	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *

OBSERVACIONES: _____

III. PUNTO DE ABLANDAMIENTO APARATO DE ANILLO Y BOLA (INV E-712-07)

Anillo No.	Líquido Utilizado	Punto de ablandamiento (°C)
1	Agua destilada	51.2
2	Agua destilada	51.4
Promedio		51.3 ± 0.74*

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: INGENIERO DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF1-01

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MATERIALES ASFÁLTICOS SÓLIDOS Y SEMISÓLIDOS-MÉTODO DEL PICNÓMETRO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-01

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 707-07

CÓDIGO ORDEN:	P024-13 y P025-13	**PROYECTO:**	IDU 038-039
Referencia:	024 y 025-1	Fecha Recepción:	2013-02-14
Descripción:	Cemento asfáltico de Barrancabermeja 60/70	Fecha de Ensayo:	2013-02-20

PRUEBA No.	1	2
Temperatura de ensayo, [°C]	25.00	25.00
Peso del picnómetro (incluído el tapón), A [g]	36.830	36.328
Peso del picnómetro con agua, B [g]	64.728	64.110
Peso del picnómetro parcialmente lleno con asfalto, C[g]	52.765	51.356
Peso del picnómetro con asfalto y con agua, D [g]	64.889	64.268
Peso unitario del agua a la temperatura de ensayo, W_T [g/cm^3]	0.9970	0.9970
Gravedad específica, γ =(C-A) / [(B-A)-(D-C)]	1.010	1.011
Densidad= γ * Wt [g/cm^3]	1.007 ± 0.001 *	1.008 ± 0.001 *

DENSIDAD DEL AGUA

Temperatura (°C)	Densidad del agua (g/cm^3)	Temperatura (°C)	Densidad del agua (g/cm^3)
10	0.9997	21	0.9980
11	0.9996	22	0.9978
12	0.9995	23	0.9975
13	0.9994	24	0.9973
14	0.9992	25	0.9970
15	0.9991	26	0.9968
16	0.9989	27	0.9965
17	0.9988	28	0.9962
18	0.9986	29	0.9959
19	0.9984	30	0.9957
20	0.9982	31	0.9953

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: INGENIERO DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF1-05

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69/5399 Fax: Ext. 5373

VISCOSIDAD DE ASFALTOS USANDO EL APARATO BROOKFIELD

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: ---

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: ASTM D 4402

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025-13

PROYECTO: IDU 038-039

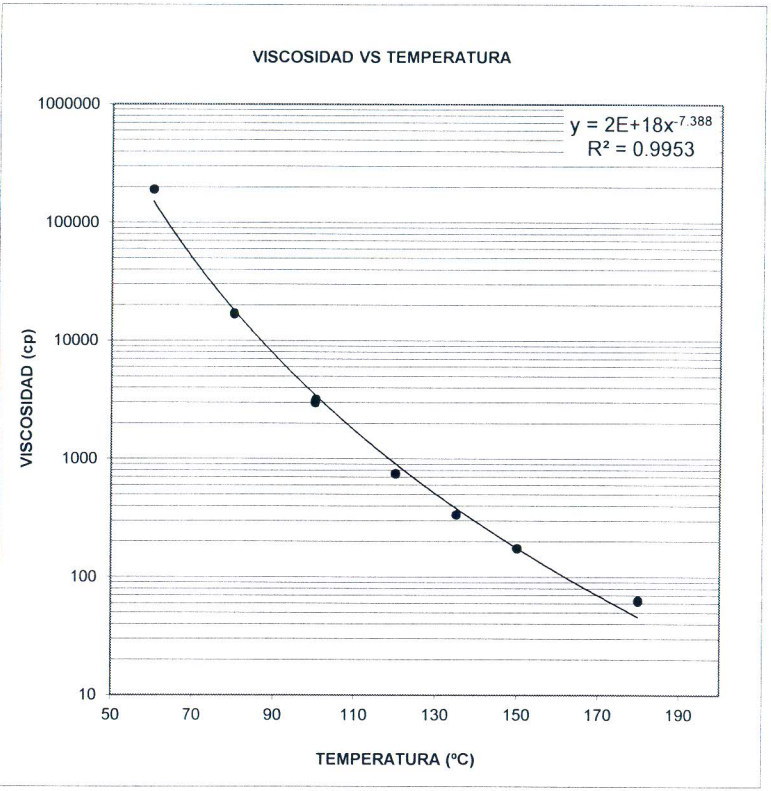
Referencia: 024 Y 025-13

Descripción: Cemento Asfáltico, Barrancabermeja 60/70

Fecha de recepción: 2013-02-14

Fecha de ensayo: 2013-02-27

TEMPERATURA °C	AGUJA No	VELOCIDAD rpm	TORQUE %	VISCOSIDAD cp
60.2	29	5	94.5	189000
60.2	29	5	93.4	189000
60.1	29	5	93.1	189000
80.1	21	2.7	92.0	17037
80.1	21	2.7	90.8	16815
80.1	21	2.7	90.3	16722
100.3	21	10	63.5	3175
100.2	21	10	60.8	3040
100.2	21	10	59.2	2960
120.2	21	30	44.9	748.3
120.1	21	30	44.8	746.7
120.2	21	30	44.6	743.3
135.1	21	50	33.6	336
135.1	21	50	33.6	336
135.1	21	50	33.6	336
150	21	50	17.4	174
150.0	21	50	17.4	174
150.1	21	50	17.4	174
179.9	21	50	6.3	63
179.9	21	50	6.2	62
179.9	21	50	6.2	62



OBSERVACIONES:

YOVANA OJEDA
CALCULÓ TECNÓLOGO:

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

Archivo: 024 Y 025-1 Viscosidad de asfaltos usando el aparato de Brookfield.xls
Revisión: 07-10-30 V0

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF1-06

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO EN EL HORNO DE LÁMINA ASFÁLTICA DELGADA EN MOVIMIENTO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-08

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 720-07

CÓDIGO ORDEN: P024-13 Y 025-13	PROYECTO: IDU 038-039
Referencia: 024 Y 025-13	Fecha de Recepción: 2013-02-14
Descripción: Cemento asfáltico de Barrancabermeja 60/70	Fecha de Ensayo: 2013-02-20

PRUEBA	1	2	3
Peso recipiente + muestra inicial (P_o) g.	191.956	195.665	193.993
Peso recipiente + muestra final (P_f) g.	191.880	195.593	193.917
Peso recipiente (P_r) g.	156.948	160.958	158.005
% PERDIDA DE MASA	0.217	0.207	0.211

% PÉRDIDA DE MASA 0.212 ± 0.010 *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANY OVIEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING DE LABORATORIO

3/8

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF1-07

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5299/5268/69 Fax: Ext. 5373

MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLOGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO No.: ------

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 750-07

CÓDIGO ORDEN:	P024-13 y P025-13	**PROYECTO:**	IDU 038-039

Referencia:	P024-1 y P025-1	Muestra:	Cemento asfáltico 60/70 de Barrancabermeja
Localización:	---	Fecha Recepción:	14-Feb-2013
Descripción:	Cemento asfáltico.	Fecha de Ensayo:	27-Feb-2013

I. Características del equipo.

Equipo:	Reómetro AR-2000ex
Software:	Rheology advantaje instrument control AR
Control:	Deformación controlada

II. Evaluación del cemento asfáltico original.

Geometría (mm):	25,0
Separación, gap (μm):	1,00

Parámetro de referencia: $\frac{G^*}{sen\ \delta} > 1{,}0\ KPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Ángulo δ	G* Pa	**|G*|/senδ kPa**	|G*|.senδ kPa	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
58	10	87	2320,3	2,324	2,3165	12,01	-2,26E-05	231,65
64	10	88	1006	1,007	1,0053	12,01	-1,36E-05	100,53
70	10	89	471	0,471	0,4710	12,00	-9,90E-06	47,103

Temperatura obtenida:	**58 °C**

III. Evaluación del residuo del cemento asfáltico obtenido con RTFO.

Geometría (mm):	25,0
Separación, gap (μm):	1,00

Parámetro de referencia: $\frac{G^*}{sen\ \delta} \geq 2{,}2\ KPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Angulo δ	G* Pa	**|G*|/senδ kPa**	|G*|.senδ kPa	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
52	10	82	10670	10,770	10,571	10,01	-6,77E-05	1057,1
58	10	84	4148	4,168	4,1279	10,06	-3,05E-05	412,79
64	10	86	1528	1,531	1,5245	10,03	-1,54E-05	152,45

Temperatura obtenida:	**58 °C**

IV. Evaluación del residuo del cemento asfáltico obtenido con PAV.

Geometría (mm):	8,0
Separación, gap (μm):	2,00

Parámetro de referencia: $G^*\ \text{sen}\ \delta \leq 5000 kPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Angulo δ	G* Pa	|G*|/senδ kPa	**|G*|.senδ kPa**	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
16	10	42	14689000	22129,000	9748,2	1,00	-2,80E-04	974820
19	10	44	10322000	14851,000	7175,7	1,00	-2,00E-04	717570
22	10	48	6668500	8978,000	4953,2	1,00	-1,31E-04	495320

Temperatura obtenida:	**22 °C**

OBSERVACIONES:

YOVANA OJEDA
CALCULO: TECNOLOGO

V.B. DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: INGENIERO DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF1-03

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-04

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 706-07

CÓDIGO ORDEN: P024-13 y P025-13

PROYECTO: IDU 038-039

Referencia: 024 Y 025-1

Fecha Recepción: 2013-02-14

Muestra: Cemento asfáltico de Barrancabermeja 60/70 envejecido con RTFO

Fecha de Ensayo: 2013-02-20

Descripción: Cemento asfáltico

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	25	50	49	49	49 ± 0.36 *
2	25	48	49	49	49 ± 0.35 *

Carga (g) : 100 Tiempo (s): 5

OBSERVACIONES:

Descripción:

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	----	----	----	----	---- ± ----
2	----	----	----	----	---- ± -----

Carga (g) : ---- Tiempo (s): ----

OBSERVACIONES:

Descripción:

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	----	----	----	----	---- ± ----
2	----	----	----	----	---- ± ----

Carga (g) : ---- Tiempo (s): ----

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.}

YOVANA OJEDA
CALCULO: TECNÓLOGO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

FORMATO AF1-09

INDICE DE PENETRACIÓN DE CEMENTOS ASFALTICOS

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: I.N.V E-724-07

CÓDIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Referencia: 024 Y 025-1	Fecha de Recepción: 2013-02-14
Descripción: Cemento asfáltico de Barrancabermeja 60/70 envejecido con RTFO	Fecha de Ensayo: 2013-02-20

1. DATOS

Punto de ablandamiento (°C)	t_{RaB}	55.3
Penetración a 25°C (0,1 mm)	P	49.0

2. CALCULOS

INDICE DE PENETRACIÓN (I_P)

$$I_P = \frac{20 \times t_{RaB} + 500 \times \log P - 1952}{t_{RaB} - 50 \times \log P + 120}$$

I_P = -0.010

OBSERVACIONES: _____

YOVANA OVEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF1-02

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

MATERIALES ASFÁLTICOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-02 IE-AF1- 03 / IE-AF1-05

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 702-07 INV E 709-07 INV E 712-07

CÓDIGO ORDEN P024-13 Y P025-13	**PROYECTO:** IDU 038-039
Referencia: 024 Y 025-1	Fecha Recepción: 2013-02-14
Descripción: Cemento asfáltico de Barrancabermeja 60/70 envejecido con RTFO	Fecha de Ensayo: 2013-02-20

I. DUCTILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS (INV E-702-07)

Prueba No.	Temperatura (°C)	Velocidad (mm/min)	Ductilidad (cm)
1	---	---	--- ± --- *
2	---	---	--- ± --- *
3	---	---	--- ± --- *

OBSERVACIONES: _____

II. PUNTO DE IGNICIÓN Y LLAMA MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND (INV E-709-07)

Prueba No.		1	2	3
Temperatura punto de ignición	A (°C)	---	---	---
Temperatura punto de llama	B (°C)	---	---	---
Presión Barométrica	P (mmHg)	---	---	---
Punto de Ignición [A+0,033*(760-P)]	(°C)	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *
Punto de Llama [B+0,033*(760-P)]	(°C)	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *

OBSERVACIONES: _____

III. PUNTO DE ABLANDAMIENTO APARATO DE ANILLO Y BOLA (INV E-712-07)

Anillo No.	Líquido Utilizado	Punto de ablandamiento (°C)
1	Agua destilada	55.2
2	Agua destilada	55.4
Promedio		55.3 ± 0.80*

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JOVANA OSEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: INGENIERO DE LABORATORIO

7/8

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF1-07

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5299/5268/69 Fax: Ext. 5373

MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLOGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO No.: ------

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 750-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13(35)	**PROYECTO:**	IDU - 039

Referencia: P025-1_2_3_4_5_6_7.
Localización: ---
Descripción: Ligante asfáltico 60-70.

Muestra: Ligante asfáltico Barrancabermeja 60 -70.
Fecha Recepción: 2013-08-20
Fecha de Ensayo: 2013-11-05

I. Características del equipo.

Equipo:	Reómetro AR-2000ex
Software:	Rheology advantaje instrument control AR
Control:	Deformación controlada

II. Evaluación del cemento asfáltico original.

Geometría (mm):	25.0
Separación, gap (μm):	1.00

Parámetro de referencia: $\frac{G^*}{sen\ \delta} > 1{,}0\ KPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Ángulo δ	G* Pa	**|G*| /senδ kPa**	|G*|.senδ kPa	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
58	10	84	3547.5	3.5689	3.5266	12.00	-3.10E-05	352.65
64	10	86	1618	1.6229	1.6134	12.00	-1.78E-05	161.34
70	10	87	770	0.771	0.7690	12.00	-1.08E-05	76.899

Temperatura obtenida:	**64 °C**

III. Evaluación del residuo del cemento asfáltico obtenido con RTFO.

Geometría (mm):	25.0
Separación, gap (μm):	1.00

Parámetro de referencia: $\frac{G^*}{sen\ \delta} \geq 2{,}2\ KPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Angulo δ	G* Pa	**|G*| /senδ kPa**	|G*|.senδ kPa	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
64	10	80	8044	8.174	7.9168	10.00	-5.27E-05	791.68
70	10	83	3534	3.565	3.5043	10.00	-2.69E-05	350.43
76	10	85	1630	1.638	1.6226	10.01	-1.60E-05	162.26

Temperatura obtenida:	**64 °C**

IV. Evaluación del residuo del cemento asfáltico obtenido con PAV.

Geometría (mm):	8.0
Separación, gap (μm):	2.00

Parámetro de referencia: $G^*\ \text{sen}\ \delta \leq 5000 kPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Angulo δ	G* Pa	|G*|/senδ kPa	**|G*| .senδ kPa**	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
19	10	38	10616000	17110.000	6587.5	1.00	-2.05E-04	658750
22	10	41	7348400	11256.000	4797.4	1.00	-1.44E-04	479740
25	10	41	6632500	10051.300	4376.9	1.00	-1.31E-04	437690

Temperatura obtenida:	**22 °C**

OBSERVACIONES:

JEISSON HURTADO
CALCULO: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: INGENIERO DE LABORATORIO

ANEXO E. Caracterización del ligante asfáltico modificado para la creación de mezclas tibias con el producto I

En este Anexo se encuentran los resultados de los ensayos de caracterización del ligante asfáltico modificado para la creación de mezclas tibias con el producto I listados a continuación:

- Penetración de los materiales asfálticos.
- Ductilidad de los materiales asfálticos y Punto de ablandamiento de materiales bituminosos.
- Gravedad específica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos.
- Método para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional.
- Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento.
- Medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico.
- Penetración de los materiales asfálticos al residuo envejecido en RTFO.
- Punto de ablandamiento de materiales bituminosos al residuo envejecido en RTFO.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-04

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 706-07

CÓDIGO ORDEN: P025-13(7) **PROYECTO:** IDU-039

Referencia: P025-13 Fecha Recepción: 2013-04-02

Muestra: Ligante asfáltico modificado con (Cecabase, Cariphalt Lt Tipo I) Fecha de Ensayo: 2013-04-09

Descripción: Cemento asfáltico

Molde	Temperatura (ºC)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	25	79	79	79	79 ± 0.57 *
2	25	78	79	79	79 ± 0.57 *

Carga (g) : 100 Tiempo (s): 5

OBSERVACIONES:

Descripción:

Molde	Temperatura (ºC)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	----	----	----	----	---- ± ----
2	----	----	----	----	---- ± ----

Carga (g) : ---- Tiempo (s): ----

OBSERVACIONES:

Descripción:

Molde	Temperatura (ºC)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	----	----	----	----	---- ± ----
2	----	----	----	----	---- ± ----

Carga (g) : ---- Tiempo (s): ----

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.}

JEISSON HURTADO
CALCULO: CORDINADOR DE LABORATORIO

Vo Bo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF1-02

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-02 IE-AF1- 03 / IE-AF1-05 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 702-07 INV E 709-07 INV E 712-07

CÓDIGO ORDEN P025-13 (7)	**PROYECTO:** IDU 039
Referencia: 024-13	Fecha Recepción: 2013-03-07
Descripción: Ligante asfáltico modificado con (Cecabase, Cariphalt Lt Tipo I)	Fecha de Ensayo: 2013-04-09

I. DUCTILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS (INV E-702-07)

Prueba No.	Temperatura (°C)	Velocidad (mm/min)	Ductilidad (cm)
1	25.0	50	120 ± 0.00 *
2	25.0	50	118 ± 0.00 *
3	25.0	50	118 ± 0.00 *

OBSERVACIONES: _____

II. PUNTO DE IGNICIÓN Y LLAMA MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND (INV E-709-07)

Prueba No.		1	2	3
Temperatura punto de ignición	A (°C)	---	---	---
Temperatura punto de llama	B (°C)	---	---	---
Presión Barométrica	P (mmHg)	---	---	---
Punto de Ignición [A+0,033*(760-P)]	(°C)	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *
Punto de Llama [B+0,033*(760-P)]	(°C)	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *

OBSERVACIONES: _____

III. PUNTO DE ABLANDAMIENTO APARATO DE ANILLO Y BOLA (INV E-712-07)

Anillo No.	Líquido Utilizado	Punto de ablandamiento (°C)
1	Agua destilada	73.2
2	Agua destilada	73.6
Promedio		73.4 ± 1.07*

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: TECNÓLOGO

VoBo Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: INGENIERO DE LABORATORIO

3/7

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF1-01

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MATERIALES ASFÁLTICOS SÓLIDOS Y SEMISÓLIDOS-MÉTODO DEL PICNÓMETRO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-01 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 707-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (7)	**PROYECTO:**	IDU-039
Referencia:	P025-13	Fecha Recepción:	2013-04-02
Descripción:	Ligante asfáltico modificado con (Cecabase, Cariphalt Lt Tipo I)	Fecha de Ensayo:	2013-04-08

PRUEBA No.	1	2
Temperatura de ensayo, [°C]	25.00	25.00
Peso del picnómetro (incluído el tapón), A [g]	35.111	32.377
Peso del picnómetro con agua, B [g]	56.956	56.300
Peso del picnómetro parcialmente lleno con asfalto, C[g]	47.833	45.333
Peso del picnómetro con asfalto y con agua, D [g]	57.024	56.415
Peso unitario del agua a la temperatura de ensayo, W_T [g/cm^3]	0.9970	0.9970
Gravedad específica, γ =(C-A) / [(B-A)-(D-C)]	1.005	1.009
Densidad= γ * Wt [g/cm^3]	1.002 ± 0.007 *	1.006 ± 0.007 *

DENSIDAD DEL AGUA

Temperatura (°C)	Densidad del agua (g/cm^3)	Temperatura (°C)	Densidad del agua (g/cm^3)
10	0.9997	21	0.9980
11	0.9996	22	0.9978
12	0.9995	23	0.9975
13	0.9994	24	0.9973
14	0.9992	25	0.9970
15	0.9991	26	0.9968
16	0.9989	27	0.9965
17	0.9988	28	0.9962
18	0.9986	29	0.9959
19	0.9984	30	0.9957
20	0.9982	31	0.9953

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

Vo Bo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: INGENIERO DE LABORATORIO

1/7

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF1-05

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69/5399 Fax: Ext. 5373

VISCOSIDAD DE ASFALTOS USANDO EL APARATO BROOKFIELD

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: ---

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 720 -07

CÓDIGO ORDEN: P024 -13 (7)

PROYECTO: IDU 038

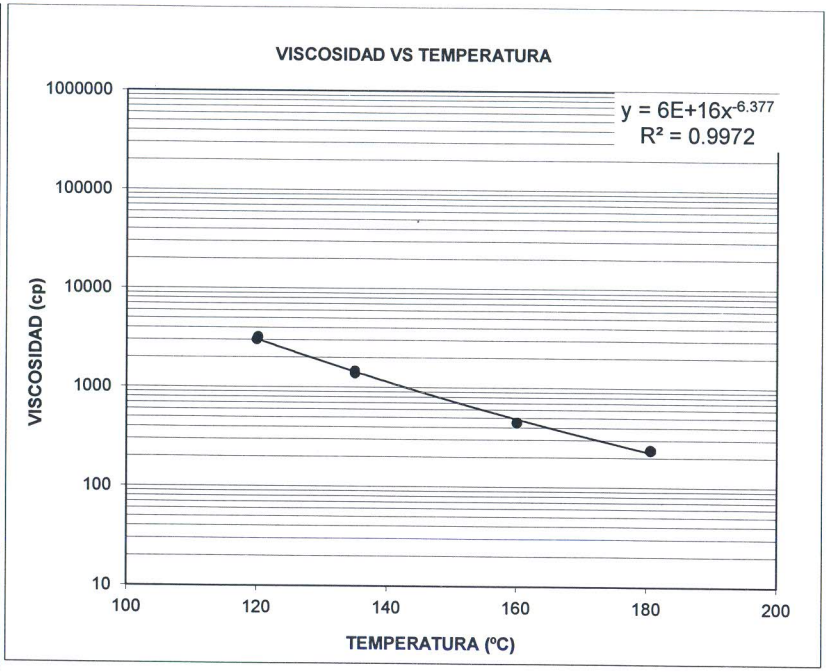
Referencia: 024-13

Descripción: Ligante asfáltico modificado con (Cecabase, Cariphalt Lt Tipo I)

Fecha de recepción: 2013-04-02

Fecha de ensayo: 2013-04-26

TEMPERATURA °C	AGUJA No	VELOCIDAD rpm	TORQUE %	VISCOSIDAD cp
120.2	21	10	64.7	3235
120.1	21	10	61.9	3095
120	21	10	60.4	3020
135.1	21	30	87.6	1460
135.1	21	30	84.1	1402
135.1	21	30	83.2	1387
160.2	21	50	45.1	451
160.1	21	50	44.8	448
160.1	21	50	44.7	447
180.6	21	50	24.0	240
180.7	21	50	23.7	237
180.6	21	50	23.4	234
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
----	---	---	---	---



OBSERVACIONES:

JEISSON HURTADO
CALCULÓ CORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

4/7

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF1-06

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO EN EL HORNO DE LÁMINA ASFÁLTICA DELGADA EN MOVIMIENTO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-08 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 720-07

CÓDIGO ORDEN: P025-13(7)	PROYECTO: IDU-039
Referencia: P025-13	Fecha de Recepción: 2013-04-02
Descripción: Ligante asfáltico modificado con (Cecabase, Cariphalt Lt Tipo I)	Fecha de Ensayo: 2013-04-08

PRUEBA	1	2	3
Peso recipiente + muestra inicial (P_o) g.	204.678	255.152	193.282
Peso recipiente + muestra final (P_f) g.	204.491	254.958	193.085
Peso recipiente (P_r) g.	169.632	220.137	158.216
% PERDIDA DE MASA	0.534	0.554	0.562

% PÉRDIDA DE MASA 0.544 ± 0.025 *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CORDINADOR DE LABORATORIO

VoBo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING DE LABORATORIO

5/7

LABORATORIO DE PRUEBAS
Y ENSAYOS
FORMATO AF1-07

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5299/5268/69 Fax: Ext. 5373

MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLOGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO No.: ------ PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 750-07

Suplemento al informe LAB_P025 (7)_13 (2), del 30 de mayo de 2013

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (7)	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	P025-13	Muestra:	Ligante asfáltico modificado con "Cecabase" Cariphalt LT tipo I.
Localización:	---	Fecha Recepción:	2013-04-02
Descripción:	Ligante asfáltico.	Fecha de Ensayo:	2013-05-22

I. Características del equipo.

Equipo:	Reómetro AR-2000ex
Software:	Rheology advantaje instrument control AR
Control:	Deformación controlada

II. Evaluación del cemento asfáltico original.

Geometría (mm):	25,0
Separación, gap (μm):	1,00

Parámetro de referencia: $\frac{G^*}{sen\,\delta} > 1{,}0\ KPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Ángulo δ	G* Pa	**|G*|/senδ kPa**	|G*|.senδ kPa	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
64	10	67	2478,1	2,694	2,2794	12,00	-2,36E-05	227,94
70	10	68	1384	1,4976	1,2799	12,01	-1,61E-05	127,99
76	10	66	817	0,891	0,7484	12,01	-1,22E-05	74,839

Temperatura obtenida:	**70 °C**

III. Evaluación del residuo del cemento asfáltico obtenido con RTFO.

Geometría (mm):	25,0
Separación, gap (μm):	1,00

Parámetro de referencia: $\frac{G^*}{sen\,\delta} \geq 2{,}2\ KPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Angulo δ	G* Pa	**|G*|/senδ kPa**	|G*|.senδ kPa	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
64	10	64	4284	4,759	3,858	9,99	-3,10E-05	385,77
70	10	67	2349	2,559	2,156	10,01	-2,00E-05	215,57
76	10	68	1335	1,437	1,241	10,00	8,00E-04	124,1

Temperatura obtenida:	**70 °C**

IV. Evaluación del residuo del cemento asfáltico obtenido con PAV.

Geometría (mm):	8,0
Separación, gap (μm):	2,00

Parámetro de referencia: $G^*\ \text{sen}\ \delta \leq 5000 kPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Angulo δ	G* Pa	|G*|/senδ kPa	**|G*|.senδ kPa**	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
10	10	40	12048000	18734,000	7747,2	1,01	-2,33E-04	774720
13	10	44	6918300	10047,500	4763,5	1,01	1,39E-02	476350
16	10	45	4946900	7042,400	3474,8	1,00	-9,92E-05	347480

Temperatura obtenida:	**13 °C**

OBSERVACIONES:

JEISSON HURTADO
CALCULO: COORDINADOR DE LABORATORIO

Vo Bo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: INGENIERO DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF1-03

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-04

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 706-07

Suplemento al informe LAB_P025(7)-13(1) de fecha 3 de Mayo de 2013

CÓDIGO ORDEN: P025-13(7)

PROYECTO: IDU 038

Referencia: P025-13

Muestra: Ligante asfáltico modificado con (Cecabase, Cariphalt Lt Tipo I) envejecido en RTFO

Fecha Recepción: 2013-03-07

Fecha de Ensayo: 2013-11-17

Descripción: Cemento asfáltico envejecido

Molde	Temperatura (ºC)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	25	74	74	75	74 ± 0.54 *
2	25	74	74	72	73 ± 0.53 *

Carga (g) : 100 Tiempo (s): 5

OBSERVACIONES:

Descripción:

Molde	Temperatura (ºC)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	----	----	----	----	---- ± ----
2	----	----	----	----	---- ± -----

Carga (g) : ---- Tiempo (s): ----

OBSERVACIONES:

Descripción:

Molde	Temperatura (ºC)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	----	----	----	----	---- ± ----
2	----	----	----	----	---- ± ----

Carga (g) : ---- Tiempo (s): ----

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.}

JEISSON HURTADO
CALCULO: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP / DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF1-02

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

MATERIALES ASFÁLTICOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-02 IE-AF1- 03 / IE-AF1-05

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 702-07 INV E 709-07 INV E 712-07

CÓDIGO ORDEN P025-13 (7)	**PROYECTO:** IDU 039

Referencia: 024-13

Descripción: Ligante asfáltico modificado con (Cecabase, Cariphalt Lt Tipo I) envejecido en RTFO

Fecha Recepción: 2013-03-07

Fecha de Ensayo: 2013-04-09

I. DUCTILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS (INV E-702-07)

Prueba No.	Temperatura (°C)	Velocidad (mm/min)	Ductilidad (cm)
1	---	---	--- ± --- *
2	---	---	--- ± ----- *
3	---	---	--- ± ---- *

OBSERVACIONES: _____

II. PUNTO DE IGNICIÓN Y LLAMA MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND (INV E-709-07)

Prueba No.		1	2	3
Temperatura punto de ignición	A (°C)	---	---	---
Temperatura punto de llama	B (°C)	---	---	---
Presión Barométrica	P (mmHg)	---	---	---
Punto de Ignición [A+0,033*(760-P)]	(°C)	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *
Punto de Llama [B+0,033*(760-P)]	(°C)	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *

OBSERVACIONES: _____

III. PUNTO DE ABLANDAMIENTO APARATO DE ANILLO Y BOLA (INV E-712-07)

Anillo No.	Líquido Utilizado	Punto de ablandamiento (°C)
1	Agua destilada	83.4
2	Agua destilada	83.8
Promedio		83.6 ± 1.21*

OBSERVACIONES: Ensayo realizado con agua destilada pendiente prueba con glicerina.

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: TECNÓLOGO

Vo Bo Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: INGENIERO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF1-07

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5299/5268/69 Fax: Ext. 5373

MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLOGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO No.: ------ PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 750-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13(38)	**PROYECTO:**	IDU - 039
Referencia:	P025-13_2_3_4_5_6_7.	Muestra:	Cemento asfáltico modificado para mezclas tibias con Cecabase envejecido en LTOA.(Recuperado en extracción)
Localización:	---	Fecha Recepción:	2013-08-23
Descripción:	Cemento asfáltico modificado	Fecha de Ensayo:	2013-11-18

I. Características del equipo.

Equipo:	Reómetro AR-2000ex
Software:	Rheology advantaje instrument control AR
Control:	Deformación controlada

II. Evaluación del cemento asfáltico original.

Geometría (mm):	25.0
Separación, gap (μm):	1.00

Parámetro de referencia: $\frac{G^*}{sen\ \delta} > 1{,}0\ KPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Ángulo δ	G* Pa	**|G*| /senδ kPa**	|G*|.senδ kPa	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
70	10	65	3362	3.7076	3.0485	12.01	-2.96E-05	304.84
76	10	66	2072	2.2608	1.898	12.01	-2.08E-05	189.8
82	10	69	1300	1.392	1.2150	12.01	-1.55E-05	121.5

Temperatura obtenida: **82 °C**

III. Evaluación del residuo del cemento asfáltico obtenido con RTFO.

Geometría (mm):	25.0
Separación, gap (μm):	1.00

Parámetro de referencia: $\frac{G^*}{sen\ \delta} \geq 2{,}2\ KPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Angulo δ	G* Pa	**|G*| /senδ kPa**	|G*|.senδ kPa	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
76	10	66	4306	4.705	3.9404	10.00	-3.12E-05	394.04
82	10	68	2457	2.654	2.2754	10.01	-2.06E-05	227.54
88	10	70	1351	1.436	1.2709	10.00	-1.42E-05	127.09

Temperatura obtenida: **82 °C**

IV. Evaluación del residuo del cemento asfáltico obtenido con PAV.

Geometría (mm):	8.0
Separación, gap (μm):	2.00

Parámetro de referencia: $G^*\ \text{sen}\ \delta \leq 5000 kPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Angulo δ	G* Pa	|G*|/senδ kPa	**|G*| .senδ kPa**	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
13	10	35	12043000	20862.000	6953.6	1.00	-2.32E-04	695360
16	10	37	8560100	14187.000	5164.8	1.00	-1.67E-04	516480
19	10	39	6035000	9581.000	3801.5	1.00	-1.19E-04	380150

Temperatura obtenida: **19 °C**

OBSERVACIONES:

JESSON HURTADO
CALCULO: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: INGENIERO DE LABORATORIO

ANEXO F. Caracterización del ligante asfáltico modificado para la creación de mezclas tibias con el producto II

En este Anexo se encuentran los resultados de los ensayos de caracterización del ligante asfáltico modificado para la creación de mezclas tibias con el producto II listados a continuación:

- Penetración de los materiales asfálticos.
- Ductilidad de los materiales asfálticos y Punto de ablandamiento de materiales bituminosos.
- Gravedad específica de materiales asfálticos sólidos y semisólidos.
- Método para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional.
- Ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento.
- Medición de propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico.
- Penetración de los materiales asfálticos al residuo envejecido en RTFO.
- Punto de ablandamiento de materiales bituminosos al residuo envejecido en RTFO.

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF1-03

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
08-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-04

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 706-07

CÓDIGO ORDEN: P025(4)-13 **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: 025-12 Fecha Recepción: 2013-03-11

Muestra: Cemento asfáltico modificado con Rediset Cariphalt LT tipo II. Fecha de Ensayo: 2013-04-09

Descripción: Cemento asfáltico

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	25	61	60	61	61 ± 0.44 *
2	25	59	61	61	60 ± 0.44 *

Carga (g) : 100 Tiempo (s): 5

OBSERVACIONES:

Descripción:

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	----	----	----	----	---- ± ----
2	----	----	----	----	---- ± -----

Carga (g) : ---- Tiempo (s): ----

OBSERVACIONES:

Descripción:

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	----	----	----	----	---- ± ----
2	----	----	----	----	---- ± ----

Carga (g) : ---- Tiempo (s): ----

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.}

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

VoBo Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF1-02

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

MATERIALES ASFÁLTICOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-02 IE-AF1- 03 / IE-AF1-05 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 702-07 INV E 709-07 INV E 712-07

CÓDIGO ORDEN	P025(4)-13	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	025-12	Fecha Recepción:	2013-03-11
Descripción:	Cemento asfáltico modificado con Rediset Cariphalt LT tipo II	Fecha de Ensayo:	2013-03-20

I. DUCTILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS (INV E-702-07)

Prueba No.	Temperatura (°C)	Velocidad (mm/min)	Ductilidad (cm)
1	25.0	50	94 ± 0.00 *
2	---	---	--- ± ----- *
3	---	---	--- ± ----- *

OBSERVACIONES: _____

II. PUNTO DE IGNICIÓN Y LLAMA MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND (INV E-709-07)

Prueba No.		1	2	3
Temperatura punto de ignición	A (°C)	---	---	---
Temperatura punto de llama	B (°C)	---	---	---
Presión Barométrica	P (mmHg)	---	---	---
Punto de Ignición [A+0,033*(760-P)]	(°C)	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *
Punto de Llama [B+0,033*(760-P)]	(°C)	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *

OBSERVACIONES: _____

III. PUNTO DE ABLANDAMIENTO APARATO DE ANILLO Y BOLA (INV E-712-07)

Anillo No.	Líquido Utilizado	Punto de ablandamiento (°C)
1	Agua destilada	62.4
2	Agua destilada	63.2
Promedio		62.8 ± 0.91*

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

Vo Bo Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: INGENIERO DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF1-01

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MATERIALES ASFÁLTICOS SÓLIDOS Y SEMISÓLIDOS-MÉTODO DEL PICNÓMETRO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-01 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 707-07

CÓDIGO ORDEN:	P025(4)-13	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	025-12	Fecha Recepción:	2013-03-11
Descripción:	Cemento asfáltico modificado con Rediset Cariphalt LT tipo II.	Fecha de Ensayo:	2013-03-20

PRUEBA No.	1	2
Temperatura de ensayo, [°C]	25.00	25.00
Peso del picnómetro (incluído el tapón), A [g]	36.809	35.110
Peso del picnómetro con agua, B [g]	64.719	56.963
Peso del picnómetro parcialmente lleno con asfalto, C[g]	54.984	49.605
Peso del picnómetro con asfalto y con agua, D [g]	64.849	57.065
Peso unitario del agua a la temperatura de ensayo, W_T [g/cm^3]	0.9970	0.9970
Gravedad específica, γ =(C-A) / [(B-A)-(D-C)]	1.007	1.007
Densidad= γ * Wt [g/cm^3]	1.004 ± 0.001 *	1.004 ± 0.001 *

DENSIDAD DEL AGUA

Temperatura (°C)	Densidad del agua (g/cm^3)	Temperatura (°C)	Densidad del agua (g/cm^3)
10	0.9997	21	0.9980
11	0.9996	22	0.9978
12	0.9995	23	0.9975
13	0.9994	24	0.9973
14	0.9992	25	0.9970
15	0.9991	26	0.9968
16	0.9989	27	0.9965
17	0.9988	28	0.9962
18	0.9986	29	0.9959
19	0.9984	30	0.9957
20	0.9982	31	0.9953

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JOVANA OVIEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

V°B° Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: INGENIERO DE LABORATORIO

3/7

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF1-05

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69/5399 Fax: Ext. 5373

VISCOSIDAD DE ASFALTOS USANDO EL APARATO BROOKFIELD

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: ---

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: ASTM D 4402

CÓDIGO ORDEN: P025 -13 (4)

PROYECTO: IDU 039

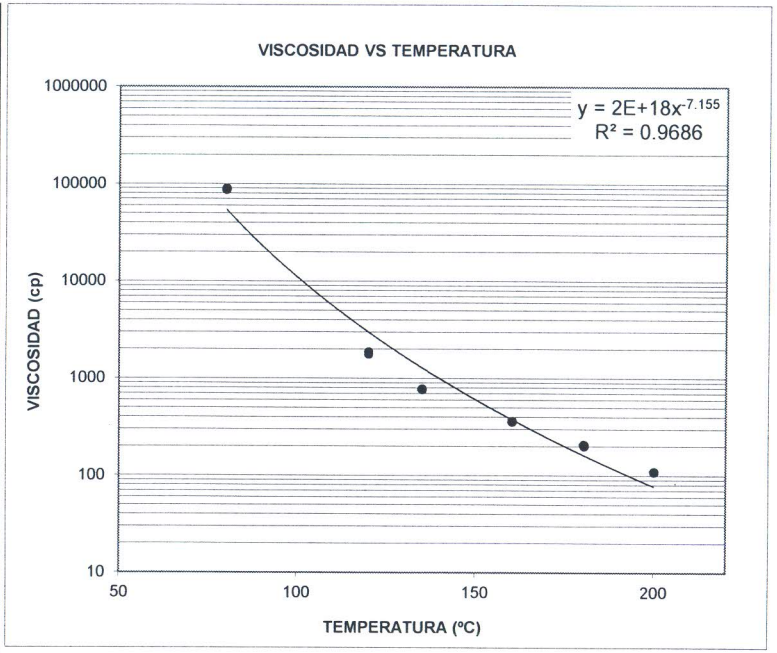
Referencia: 025-12

Descripción: Cemento asfáltico modificado con Rediset Cariphalt LT tipo II.

Fecha de recepción: 2013-03-11

Fecha de ensayo: 2013-04-06

TEMPERATURA °C	AGUJA No	VELOCIDAD rpm	TORQUE %	VISCOSIDAD cp
80.1	21	0.5	88.9	88900
80.1	21	0.5	87.2	87200
80	21	0.5	86.9	86900
120.1	21	20	74.3	1858
120.1	21	20	74.3	1858
120.1	21	20	70.9	1773
135.1	21	40	61.6	770
135.2	21	40	61.1	763.7
135.2	21	40	61.1	763.7
160.4	21	50	36.1	361
160.4	21	50	36.0	360
160.3	21	50	35.7	357
180.5	21	50	20.1	201
180.5	21	50	20.5	205
180.4	21	50	20.6	206
200.1	21	50	10.9	109
200.1	21	50	10.9	109
200.1	21	50	10.9	109



OBSERVACIONES:

YOVANA OJEDA
CALCULÓ TECNÓLOGO:

Vo Bo Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

4/2

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF1-07

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5299/5268/69 Fax: Ext. 5373

MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLOGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO No.: ------

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 750-07

CÓDIGO ORDEN:	P025(4)-13	**PROYECTO:**	IDU 039

Referencia: P025-12
Localización: ----
Descripción: Cemento asfáltico modificado.

Muestra: Cemento asfáltico modificado con Rediset Cariphalt LT tipo II.
Fecha Recepción: 11-Mar-2013
Fecha de Ensayo: 9-Apr-2013

I. Características del equipo.

Equipo:	Reómetro AR-2000ex
Software:	Rheology advantaje instrument control AR
Control:	Deformación controlada

II. Evaluación del cemento asfáltico original.

Geometría (mm):	25,0
Separación, gap (μm):	1,00

Parámetro de referencia: $\frac{G^*}{sen\ \delta} > 1{,}0\ KPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Angulo δ	G* Pa	|G*|/senδ kPa	|G*|.senδ kPa	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
70	10	61	2200,8	2,5151	1,9257	12,02	-2,17E-05	192,57
76	10	60	1276	1,4699	1,1077	12,03	-1,53E-05	110,77
82	10	59	762	0,893	0,6500	12,05	-1,18E-05	64,997

Temperatura obtenida: **70 °C**

III. Evaluación del residuo del cemento asfáltico obtenido con RTFO.

Geometría (mm):	25,0
Separación, gap (μm):	1,00

Parámetro de referencia: $\frac{G^*}{sen\ \delta} \geq 2{,}2\ KPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Angulo δ	G* Pa	|G*|/senδ kPa	|G*|.senδ kPa	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
70	10	69	3626	3,889	3,3808	10,02	-2,74E-05	338,08
76	10	73	1919	2,009	1,8327	10,03	-1,76E-05	183,27
82	10	76	1015	1,047	0,9851	10,03	-1,24E-05	98,51

Temperatura obtenida: **70 °C**

IV. Evaluación del residuo del cemento asfáltico obtenido con PAV.

Geometría (mm):	8,0
Separación, gap (μm):	2,00

Parámetro de referencia: $G^*\ \text{sen}\ \delta \leq 5000 kPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Angulo δ	G* Pa	|G*|/senδ kPa	|G*|.senδ kPa	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
13	10	35	13577000	23489,000	7846,0	1,00	-2,60E-04	784600
16	10	37	10155000	16849,000	6122,3	1,00	-1,97E-04	612230
19	10	39	7330900	11588,000	4637,3	1,00	-1,44E-04	463730

Temperatura obtenida: **19 °C**

OBSERVACIONES:

YOVANA OJEDA
CALCULO: TECNOLOGO

Vo Bo Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: ING DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF1-03

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-04 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 706-07

CÓDIGO ORDEN: P025(4)-13	**PROYECTO:** IDU 039
Referencia: 025-12	Fecha Recepción: 2013-03-11
Muestra: Cemento asfáltico modificado con Rediset Cariphalt LT tipo II, envejecido con RTFO	Fecha de Ensayo: 2013-03-21

Descripción: Cemento asfáltico

Molde	Temperatura (ºC)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	25	42	41	42	42 ± 0.30 *
2	25	42	42	42	42 ± 0.30 *

Carga (g) : 100 Tiempo (s): 5

OBSERVACIONES:

Descripción:

Molde	Temperatura (ºC)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	----	----	----	----	---- ± ----
2	----	----	----	----	---- ± -----

Carga (g) : ---- Tiempo (s): ----

OBSERVACIONES:

Descripción:

Molde	Temperatura (ºC)	Penetración No.1 (0.1 mm)	Penetración No.2 (0.1 mm)	Penetración No.3 (0.1 mm)	Penetración Promedio (mm)
1	----	----	----	----	---- ± ----
2	----	----	----	----	---- ± ----

Carga (g) : ---- Tiempo (s): ----

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.}

YOVANNA OJEDA
CALCULO: TECNÓLOGO

VoBo Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF1-02

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

MATERIALES ASFÁLTICOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-02 IE-AF1- 03 / IE-AF1-05 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 702-07 INV E 709-07 INV E 712-07

CÓDIGO ORDEN:	P025(4)-13	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	025-12	Fecha Recepción:	2013-03-11
Descripción:	Cemento asfáltico modificado con Rediset Cariphalt LT tipo II, envejecido con RTFO	Fecha de Ensayo:	2013-03-21

I. DUCTILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS (INV E-702-07)

Prueba No.	Temperatura (°C)	Velocidad (mm/min)	Ductilidad (cm)
1	---	---	--- ± --- *
2	---	---	--- ± --- *
3	---	---	--- ± --- *

OBSERVACIONES: _____

II. PUNTO DE IGNICIÓN Y LLAMA MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND (INV E-709-07)

Prueba No.		1	2	3
Temperatura punto de ignición	A (°C)	---	---	---
Temperatura punto de llama	B (°C)	---	---	---
Presión Barométrica	P (mmHg)	---	---	---
Punto de Ignición [A+0,033*(760-P)]	(°C)	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *
Punto de Llama [B+0,033*(760-P)]	(°C)	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *

OBSERVACIONES: _____

III. PUNTO DE ABLANDAMIENTO APARATO DE ANILLO Y BOLA (INV E-712-07)

Anillo No.	Líquido Utilizado	Punto de ablandamiento (°C)
1	Agua destilada	79.2
2	Agua destilada	79.6
Promedio		79.4 ± 1.15*

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

YOVANA OJEDA
CALCULÓ: TECNÓLOGO

VoBo Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: INGENIERO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF1-07

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5299/5268/69 Fax: Ext. 5373

MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLOGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO No.: ------ PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 750-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13(39)	**PROYECTO:**	IDU - 039
Referencia:	P025-12_2_3_4_5_6_7.	Muestra:	Cemento asfáltico modificado para mezclas tibias con Rediset envejecido en LTOA (recuperado en extracción).
Localización:	---	Fecha Recepción:	2013-08-23
Descripción:	Cemento asfáltico modificado.	Fecha de Ensayo:	2013-11-28

I. Características del equipo.

Equipo:	Reómetro AR-2000ex
Software:	Rheology advantaje instrument control AR
Control:	Deformación controlada

II. Evaluación del cemento asfáltico original.

Geometría (mm):	25.0
Separación, gap (µm):	1.00

Parámetro de referencia: $\frac{G^*}{sen\ \delta} > 1{,}0\ KPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Ángulo δ	G* Pa	**|G*| /senδ kPa**	|G*|.senδ kPa	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
70	10	74	2940.6	3.0626	2.8234	12.02	2.11E-03	282.34
76	10	76	1588	1.6377	1.5402	12.02	-1.75E-05	154.02
82	10	78	871	0.891	0.8508	12.02	-1.26E-05	85.083

Temperatura obtenida: **76 °C**

III. Evaluación del residuo del cemento asfáltico obtenido con RTFO.

Geometría (mm):	25.0
Separación, gap (µm):	1.00

Parámetro de referencia: $\frac{G^*}{sen\ \delta} \geq 2{,}2\ KPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Ángulo δ	G* Pa	**|G*| /senδ kPa**	|G*|.senδ kPa	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
76	10	72	3810	4.016	3.6137	10.01	-2.84E-05	361.37
82	10	74	2022	2.107	1.9403	10.02	-1.82E-05	194.03
88	10	75	1114	1.152	1.0768	10.02	-1.30E-05	107.68

Temperatura obtenida: **76 °C**

IV. Evaluación del residuo del cemento asfáltico obtenido con PAV.

Geometría (mm):	8.0
Separación, gap (µm):	2.00

Parámetro de referencia: $G^*\ \text{sen}\ \delta \leq 5000 kPa$

Temperatura °C	Frecuencia rad/s	Ángulo δ	G* Pa	|G*|/senδ kPa	**|G*| .senδ kPa**	Deformación %	Torque micro N.m	Viscosidad Pa s
16	10	36	11412000	19529.000	6668.3	1.00	-2.20E-04	666830
19	10	38	8136100	13290.000	4981	1.00	-1.59E-04	498100
22	10	39	6425300	10256.400	4025	1.00	-1.27E-04	402500

Temperatura obtenida: **19 °C**

OBSERVACIONES:

JHSSON HURTADO
CALCULO: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: INGENIERO DE LABORATORIO

ANEXO G. Caracterización dinámica de la mezcla asfáltica MD12 con asfalto Barrancabermeja 60-70

En este anexo se encuentran los resultados de los ensayos de caracterización dinámica de la mezcla asfáltica MD12 con asfalto Barrancabermeja 60-70 listados a continuación:

- Diseño de mezcla asfáltica.
- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de la mezcla asfáltica en su estado original.
- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de la mezcla asfáltica sometida a un envejecimiento a corto plazo (STOA).
- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de la mezcla asfáltica sometida a un envejecimiento a corto y largo plazo (STOA + LTOA).
- Ensayo de resistencia a la fatiga a esfuerzo controlado a la mezcla asfáltica sometida a un envejecimiento a corto plazo (STOA).
- Ensayo de resistencia a la fatiga a esfuerzo controlado a la mezcla asfáltica sometida a un envejecimiento a corto y largo plazo (STOA + LTOA).
- Ensayo de resistencia de una mezcla bituminosa compactada al daño causado por humedad en su estado original.
- Ensayo de resistencia de una mezcla bituminosa compactada al daño causado por humedad sometida a un envejecimiento a corto plazo (STOA).
- Ensayo de resistencia de una mezcla bituminosa compactada al daño causado por humedad sometida a un envejecimiento a corto y largo plazo (STOA + LTOA).
- Ensayo de resistencia a la deformación plástica de la mezcla asfáltica mediante la pista de ensayo de laboratorio sometida a un envejecimiento a corto plazo (STOA).
- Ensayo de resistencia a la deformación plástica de la mezcla asfáltica mediante la pista de ensayo de laboratorio sometida a un envejecimiento a corto y largo plazo (STOA + LTOA).
- Extracción cuantitativa del asfalto a la mezcla asfáltica sometida a un envejecimiento a corto y largo plazo (STOA + LTOA).

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-08

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J.Bogotá
Tel.: (57-1) 3208320 Ext 5268/69 Fax: Ext 5255

DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS - METODO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF 2-01

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-98

CÓDIGO ORDEN: P024_025-13(11) **PROYECTO:** IDU 038 - 039

REFERENCIA: 024 y 025_1_2_3_4_5_6_7_11

LOCALIZACIÓN: ---

DESCRIPCIÓN: Diseño de mezcla asfáltica MD 12, método Marshall con ligante asfáltico 60 - 70 Barrancabermeja

MUESTRA: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Cal marca CALCO,Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja

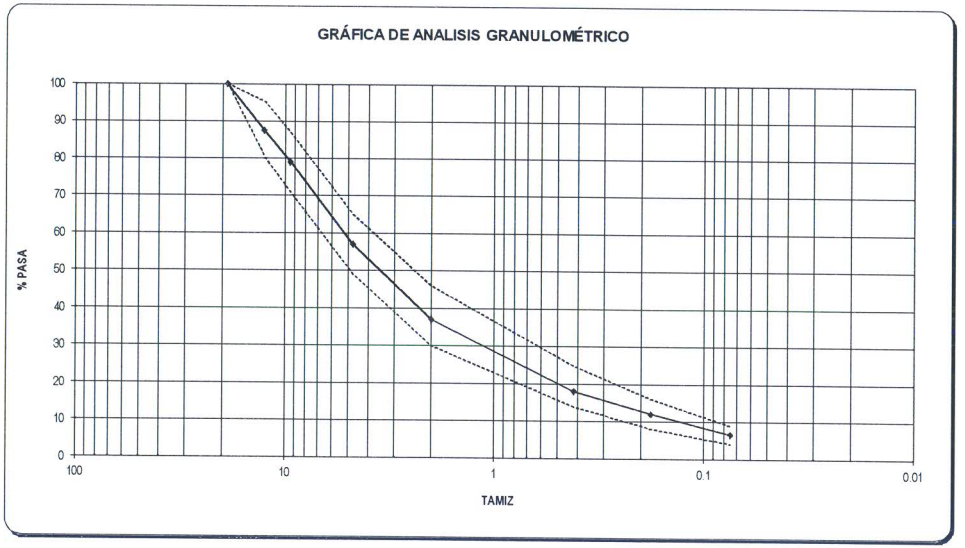
FECHA DE RECEPCIÓN: 2013-04-11

FECHA DE ENSAYO: 2013-04-19

I. GRADACIÓN COMBINADA PARA LA MEZCLA

Tamaño Tamiz pg / mm	Tamaño Tamiz - % Pasa 1" 25.4	3/4" 19.1	1/2" 12.7	3/8" 9.53	4 4.76	10 2	40 0.42	80 0.18	200 0.075	% Óptimo de c/material
Combinación	100	100.0	87.5	79.0	57.0	37.0	18.0	12.0	6.5	100.0
--	---	---	---	---	---	---	--	---	---	---
--	---	---	---	---	--	--	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	--	--	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
MEZCLA		100	88	79	57	37	18	12	7	

ESPECIFICACION	--	100	95	87	65	46	25	16	9
MD-12	---	100	80	71	49	30	14	8	4
Tamiz mm	---	19	12.5	9.5	4.75	2	0.425	0.18	0.075



II. DISEÑO DE LA MEZCLA

CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO : 5.2 %

TEMPERATURA DE MEZCLA : 150 °C

TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN: 140 °C

III. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

CARACTERISTICA	UND	DISEÑO	ESPECIFICACION
DENSIDAD BULK	kg/m^3	---	---
ESTABILIDAD	kg	1580	900
VACIOS CON AIRE	%	4	4-6
VACIOS LLENOS DE ASFALTO	%	74	65-75
FLUJO	mm	3.4	2-3.5
VACIOS EN AGREG. MINERAL	min	15.8	≥ 15

IV. OBSERVACIONES

Por recomendación del cliente se considera el peso específico máximo medido igual al máximo teórico.
Diseño de mezcla asfáltica con Cal.
Especificaciones IDU Tabla 510.7
La dosificación fue asignada por el cliente.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.: (57-1) 3208320 Ext 5373 Fax: Ext 5373

DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS - METODO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-07

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025 -13 **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

REFERENCIA: 024 y 025_1_2_3_4_5_6_7_11 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 2013-04-11

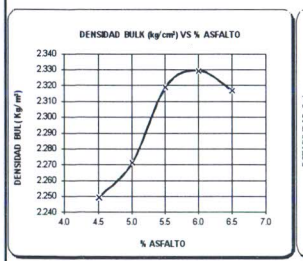
LOCALIZACIÓN: --- **FECHA DE ENSAYO:** 2013-04-19

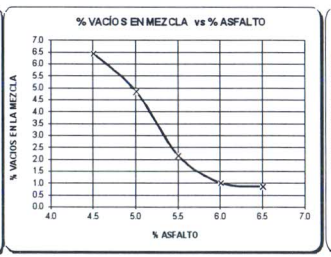
DESCRIPCIÓN: Diseño de mezcla asfáltica MD 12, método Marshall con ligante asfáltico 60 - 70 Barranca.

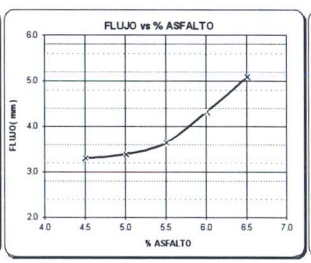
MUESTRA: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Cal marca CALCO,Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja

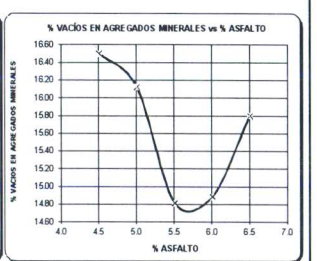
Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural(Rio Coello):	Muestras 2-4-5-6 (gruesos)	Gs	2.571
Arena de peña (Ingescol Soacha):	024-025-7	Gs	2.509
Cal marca CALCO:	024-025-11 (cal)	Gs	2.710
Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar).	024 - 025-3	Gs	2.560
Ligante asfáltico Barrancabermeja	024-025-1	Gs ASFALTO :	1.008
		Gs AGREGADOS PARA DISEÑO :	2.573

MEZCLA No.	% DE ASFALTO	% ASFALTO DISEÑO	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	PESO UNITARIO g/cm³	% DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	CARGA (kg)	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	ESTABILIDAD (kg)	FLUJO mm	RELACIÓN ESTABILIDAD/ FLUJO
			SECA EN AIRE	S.S.S EN AIRE	EN AGUA	BULK	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADOS	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO										kg/mm
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	L	m	n	o	p							r	s	
						$\frac{d}{e-f}$			$\frac{(i-h)\,10}{h\,(100-b)}$	$\frac{(100-b)\,g}{G\,agr}$	$\left(1-\frac{g}{i}\right)*100$	100 - K - L	100 - K	$b-\frac{J\,(100-b)}{100}$		(m / n)*100						t/s
1	4.5	4.5	1183.2	1191.7	662.5	2.238											1577	0.985	1553		3.3	470.7
2	4.5	4.5	1180.2	1188.0	663.5	2.252											1677	1.011	1695		3.3	513.8
3	4.5	4.5	1179.1	1188.0	665.2	2.258											1751	0.943	1651		3.3	500.4
PROMEDIO						**2.249**	**2.404**	**2.404**	**0.000**	**83.50**	**6.45**	**10.05**	**16.50**	**4.50**	**2.249**	**60.896**	**1668**		**1633**	**1,633**	**3.3**	**494.9**
1	5.0	5.0	1178.5	1188.5	663.6	2.247											1419	0.932	1323		3.3	400.8
2	5.0	5.0	1181.5	1186.5	671.5	2.297											1737	0.983	1707		3.3	517.4
3	5.0	5.0	1186.2	1192.8	669.6	2.270											1719	1.035	1779		3.6	499.8
PROMEDIO						**2.271**	**2.387**	**2.387**	**0.000**	**83.88**	**4.85**	**11.27**	**16.12**	**5.00**	**2.271**	**69.914**	**1625**		**1603**	**1,603**	**3.4**	**472.6**
1	5.5	5.5	1183.4	1185.7	673.5	2.313											1363	0.980	1336		3.3	404.8
2	5.5	5.5	1173.4	1176.2	669.5	2.318											1709	0.973	1663		3.8	436.4
3	5.5	5.5	1168.1	1169.7	667.1	2.326											1586	0.990	1570		3.8	412.1
PROMEDIO						**2.319**	**2.370**	**2.370**	**0.000**	**85.19**	**2.15**	**12.66**	**14.81**	**5.50**	**2.319**	**85.461**	**1553**		**1523**	**1,523**	**3.6**	**417.8**
1	6.0	6.0	1173.7	1178.8	673.6	2.326											1310	0.973	1275		4.3	295.1
2	6.0	6.0	1177.5	1175.1	669.6	2.332											1372	0.968	1328		4.1	327.1
3	6.0	6.0	1177.0	1178.2	672.6	2.330											1269	0.980	1244		4.6	272.1
PROMEDIO						**2.329**	**2.353**	**2.353**	**0.000**	**85.11**	**1.01**	**13.87**	**14.89**	**6.00**	**2.329**	**93.186**	**1317**		**1282**	**1,282**	**4.3**	**298.1**
1	6.5	6.5	1179.7	1182.3	671.0	2.310											1103	0.960	1059		5.1	208.4
2	6.5	6.5	1179.0	1180.4	673.0	2.326											1008	0.970	978		5.1	192.5
3	6.5	6.5	1165.9	1167.1	662.8	2.314											958	0.983	942		5.1	185.4
PROMEDIO						**2.317**	**2.337**	**2.337**	**0.000**	**84.20**	**0.85**	**14.95**	**15.80**	**6.50**	**2.317**	**94.600**	**1023**		**993**	**993**	**5.1**	**195.4**









OBSERVACIONES

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

Vo Bo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: INGENIERO DE LABORATORIO

46/56

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13(11)	**PROYECTO:** IDU 038 Y 039		
Referencia: 024 Y 25-1_2_3_4_5_6_7_11.		Fecha recepción:	2013-04-11
Descripción: Mezcla asfaltica MD 12 con ligante asfáltico 60 -70 Barrancabermeja.		Fecha de ensayo:	2013-04-15

Tipo de Mezcla: MD-12 - 4.5% Asfalto 60-70 con Cal. — Método Utilizado: A

Briqueta No		1	2	3	----	----
Temperatura del agua	°C	19	19.2	19.2	----	----
Temperatura ambiente	°C	21	20.5	20.5	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	1183.2	1180.2	1179.1	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	1191.7	1188	1188	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	662.5	663.5	665.2	----	----
Constante de corrección k		1.001364	1.001364	1.001364	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$		2.238 ± 0.018 *	2.252 ± 0.018 *	2.258 ± 0.018 *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$	kg/m^3	2231.4 ± 18.7 *	2245.7 ± 18.8 *	2250.9 ± 18.9 *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	1.606 ± 0.710 *	1.487 ± 0.657 *	1.702 ± 0.752 *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- — Método Utilizado: ---

Briqueta No		----	----	----	----	----
Temperatura del agua	°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente	°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k		----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$		---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$	kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:CORDINADOR DE LABORATORIO

Vo Bo Daniel MR
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13(11)	**PROYECTO:**	IDU 038 Y 039	
Referencia: 024 Y 25-1_2_3_4_5_6_7_11.		Fecha recepción:	2012-04-11
Descripción: Mezcla asfaltica MD 12 con ligante asfáltico 60 -70 Barrancabermeja.		Fecha de ensayo:	2013-04-15

Tipo de Mezcla MD-12 -5.0 % Asfalto 60 -70 con Cal. Método Utilizado A

Briqueta No			6	7	8	----	----
Temperatura del agua		°C	19	19.2	19.2	----	----
Temperatura ambiente		°C	21	20.54	20.5	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1178.5	1181.5	1186.2	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1188.5	1186.5	1192.8	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	663.6	671.5	669.6	----	----
Constante de corrección k			1.001364	1.001364	1.001364	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2.247 ± 0.018 *	2.297 ± 0.019 *	2.270 ± 0.018 *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2240.7 ± 18.8 *	2289.6 ± 19.2 *	2262.7 ± 18.9 *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	1.905 ± 0.842 *	0.971 ± 0.429 *	1.261 ± 0.557 *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla ---- Método Utilizado ---

Briqueta No			----	----	----	----	----
Temperatura del agua		°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente		°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k			----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:CORDINADOR DE LABORATORIO

Vo Bo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13(11) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: 024 Y 25-1_2_3_4_5_6_7_11. Fecha recepción: 2013-04-11

Descripción: Mezcla asfaltica MD 12 con ligante asfáltico 60 -70 Barrancabermeja. Fecha de ensayo: 2013-04-15

Tipo de Mezcla MD-12 - 5.5 % Asfalto 60-70 con Cal. Método Utilizado A

Briqueta No			9	11	12	----	----
Temperatura del agua		°C	19	19.2	19.2	----	----
Temperatura ambiente		°C	21	20.5	20.5	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1183.4	1173.4	1168.1	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1185.7	1176.2	1169.7	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	673.5	669.5	667.1	----	----
Constante de corrección k			1.001364	1.001364	1.001364	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$			2.313 ± 0.019 *	2.318 ± 0.019 *	2.326 ± 0.019 *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$		kg/m^3	2305.8 ± 19.3 *	2311.2 ± 19.4 *	2319.5 ± 19.4 *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.449 ± 0.198 *	0.553 ± 0.244 *	0.318 ± 0.141 *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla ---- Método Utilizado ---

Briqueta No			----	----	----	----	----
Temperatura del agua		°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente		°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k			----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$			---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$		kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

VoBo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13	**PROYECTO:**	IDU 038 Y 039	
Referencia: 024 Y 25-1_2_3_4_5_6_7_11.		Fecha recepción:	2013-04-11
Descripción: Mezcla asfaltica MD 12 con ligante asfáltico 60 -70 Barrancabermeja.		Fecha de ensayo:	2013-04-15

Tipo de Mezcla MD-12 - 6.0 % Asfalto 60 - 70 con Cal. Método Utilizado A

Briqueta No		14	15	16	----	----
Temperatura del agua	°C	19	19.2	19.2	----	----
Temperatura ambiente	°C	21	20.5	20.5	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	1173.7	1177.5	1177	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	1178.8	1175.1	1178.2	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	673.6	669.6	672.6	----	----
Constante de corrección k		1.001364	1.001364	1.001364	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$		2.326 ± 0.019 *	2.332 ± 0.019 *	2.330 ± 0.019 *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$	kg/m^3	2318.6 ± 19.4 *	2324.7 ± 19.5 *	2323.3 ± 19.5 *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	1.010 ± 0.446 *	-0.475 ± -0.210 *	0.237 ± 0.105 *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla ---- Método Utilizado ---

Briqueta No		----	----	----	----	----
Temperatura del agua	°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente	°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k		----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$		---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$	kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

VoBo Daniel MR
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13(11)	**PROYECTO:**	IDU 038 Y 039	
Referencia: 024 Y 25-1_2_3_4_5_6_7_11.		Fecha recepción:	2013-04-11
Descripción: Mezcla asfaltica MD 12 con ligante asfáltico 60 -70 Barrancabermeja.		Fecha de ensayo:	2013-04-15

Tipo de Mezcla: MD-12 - 6.5 % Asfalto 60 -70 CON Cal. Método Utilizado: A

Briqueta No		17	18	19	----	----
Temperatura del agua	°C	19	19.2	19.2	----	----
Temperatura ambiente	°C	21	20.5	20.5	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	1179.7	1179	1165.9	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	1182.3	1180.4	1167.1	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	671.0	673	662.8	----	----
Constante de corrección k		1.001364	1.001364	1.001364	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25^oC}$		2.310 ± 0.019 *	2.326 ± 0.019 *	2.314 ± 0.019 *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25^oC}$	kg/m^3	2302.7 ± 19.3 *	2319.0 ± 19.4 *	2307.3 ± 19.3 *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	0.509 ± 0.225 *	0.276 ± 0.122 *	0.238 ± 0.105 *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No		----	----	----	----	----
Temperatura del agua	°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente	°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k		----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25^oC}$		---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25^oC}$	kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:CORDINADOR DE LABORATORIO

Vo Bo Daniel MR
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-01

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 - 5373 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-07

CODIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13(11)

PROYECTO: IDU 038 - 039

Referencia: P024_P25-1_2_2_3_4_5_6_7_11

Fecha Recepción: 2013-04-11

Descripción: Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 4.5% Asfalto con Cal

Fecha de Ensayo: 2013-04-16

Probeta No		1	2	3
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Cal marca CALCO,Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 4.5% Asfalto con Cal	Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 4.5% Asfalto con Cal	Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 4.5% Asfalto con Cal
Temperatura Ambiente ºC		22.4	22.4	22.4
Estabilidad medida (kg)		1577	1677	1751
Altura de la briqueta (mm)		64.1	63.1	66.0
Factor de correlación		0.985	1.011	0.943
Estabilidad corregida	(lbf)	3425	3738	3640
	(kgf)	1553	1695	1651
	(N)	15238	16632	16198
Flujo	(0.01")	13	13	13
	(mm)	3.30	3.30	3.30

Estabilidad Promedio

(lbf) 3601 ± * 129

(kgf) 1633 ± * 59

(N) 16023 ± * 575

Flujo Promedio

(0.01") 13.0 ± 1.4 *

(mm) 3.30 ± 0.35 *

OBSERVACIONES: _____

Probeta No		--	---	---
Muestra		---		
Localización		---		
Descripción		---	---	---
Temperatura Ambiente ºC		---	---	---
Estabilidad medida (kg)		---	---	---
Altura de la briqueta (mm)				
Factor de correlación		---	---	---
Estabilidad corregida	(lbf)			
	(kgf)			
	(N)			
Flujo	(0.01")	---	----	---
	(mm)			

Estabilidad Promedio

(lbf) ± *

(kg) ± *

(N) ± *

Flujo Promedio

(0.01") ± *

(mm) ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansión k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

Vo.Bo. Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-01

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 - 5373 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01 — INFORME DE ENSAYO — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-07

CODIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13(11)	**PROYECTO:** IDU 038 - 039
Referencia: P024_P25-1_2_2_3_4_5_6_7_11	Fecha Recepción: 2013-04-11
Descripción: Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 5.0 % Asfalto con Cal.	Fecha de Ensayo: 2013-04-16

Probeta No		6	7	8
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Cal marca CALCO,Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 5.0 % Asfalto con Cal.	Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 5.0 % Asfalto con Cal.	Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 5.0 % Asfalto con Cal.
Temperatura Ambiente ºC		22.4	22.4	22.4
Estabilidad medida (kg)		1419	1737	1719
Altura de la briqueta (mm)		66.6	64.2	66.2
Factor de correlación		0.932	0.983	1.035
Estabilidad corregida	(lbf)	2916	3764	3922
	(kgf)	1323	1707	1779
	(N)	12974	16750	17454
Flujo	(0.01")	13	13	14
	(mm)	3.30	3.30	3.56

Estabilidad Promedio (lbf) 3534 ± * 127 — Flujo Promedio (0.01") 13.3 ± * 1.4

(kgf) 1603 ± * 58 — (mm) 3.39 ± * 0.36

(N) 15726 ± * 565

OBSERVACIONES: _____

Probeta No		---	---	---
Muestra		---		
Localización		---		
Descripción		---	--	---
Temperatura Ambiente ºC		---	---	---
Estabilidad medida (kg)		---	---	---
Altura de la briqueta (mm)		---	----	---
Factor de correlación		---	---	---
Estabilidad corregida	(lbf)	---	---	---
	(kgf)	---	---	---
	(N)	---	---	---
Flujo	(0.01")	---	---	---
	(mm)	---	---	---

Estabilidad Promedio (lbf) ± * — Flujo Promedio (0.01") ± *

(kg) ± * — (mm) ± *

(N) ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

Vo.Bo.
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-01

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 - 5373 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01 — INFORME DE ENSAYO — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-07

CODIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13(11) | **PROYECTO:** IDU 038 - 039

Referencia: P024_P25-1_2_2_3_4_5_6_7_11 | Fecha Recepción: 2013-04-11

Descripción: Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 5.5 % Asfalto con Cal | Fecha de Ensayo: 2013-04-16

Probeta No		9	11	12
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Cal marca CALCO,Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 5.5 % Asfalto con Cal	Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 5.5 % Asfalto con Cal	Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 5.5 % Asfalto con Cal
Temperatura Ambiente ºC		22.4	22.4	22.4
Estabilidad medida (kg)		1363	1709	1586
Altura de la briqueta (mm)		64.3	64.6	63.9
Factor de correlación		0.980	0.973	0.990
Estabilidad corregida	(lbf)	2945	3666	3462
	(kgf)	1336	1663	1570
	(N)	13104	16313	15403
Flujo	(0.01")	13	15	15
	(mm)	3.30	3.81	3.81

Estabilidad Promedio (lbf) 3357 ± * 121

(kgf) 1523 ± * 55

(N) 14940 ± * 537

Flujo Promedio (0.01") 14.3 ± 1.5 *

(mm) 3.64 ± 0.38 *

OBSERVACIONES: _____

Probeta No		---	---	---
Muestra		---		
Localización		---		
Descripción		---	--	---
Temperatura Ambiente ºC		---	---	---
Estabilidad medida (kg)		---	---	---
Altura de la briqueta (mm)		---	---	---
Factor de correlación		---	---	---
Estabilidad corregida	(lbf)	---	---	---
	(kgf)	--	---	---
	(N)	---	--	---
Flujo	(0.01")	---	---	---
	(mm)	---	---	---

Estabilidad Promedio (lbf) ± *

(kg) ± *

(N) ± *

Flujo Promedio (0.01") ± *

(mm) ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

VoBo Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01 | INFORME DE ENSAYO | PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-07

CODIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13(11) | **PROYECTO:** IDU 038 - 039

Referencia: P024_P25-1_2_2_3_4_5_6_7_11 | Fecha Recepción: 2013-04-11

Descripción: Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 6.0 % Asfalto con Cal | Fecha de Ensayo: 2013-04-16

Probeta No		14	15	16
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Cal marca CALCO,Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 6.0 % Asfalto con Cal	Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 6.0 % Asfalto con Cal	Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 6.0 % Asfalto con Cal
Temperatura Ambiente ºC		22.4	22.4	22.4
Estabilidad medida (kg)		1310	1372	1269
Altura de la briqueta (mm)		64.6	64.8	64.3
Factor de correlación		0.973	0.968	0.980
Estabilidad corregida	(lbf)	2810	2928	2742
	(kgf)	1275	1328	1244
	(N)	12504	13029	12200
Flujo	(0.01")	17	16	18
	(mm)	4.32	4.06	4.57

Estabilidad Promedio (lbf) 2827 ± * 919

(kgf) 1282 ± * 417

(N) 12578 ± *4088

Flujo Promedio (0.01") 17.0 ± 1.8*

(mm) 4.32 ± 0.46*

OBSERVACIONES: _____

Probeta No		---	--	--
Muestra		---		
Localización		---		
Descripción		---	---	---
Temperatura Ambiente ºC		---	---	---
Estabilidad medida (kg)		---	---	---
Altura de la briqueta (mm)		---	---	---
Factor de correlación		---	---	---
Estabilidad corregida	(lbf)	---	---	---
	(kgf)	---	---	---
	(N)	---	---	---
Flujo	(0.01")	--	---	---
	(mm)	--	---	---

Estabilidad Promedio (lbf) ± *

(kg) ± *

(N) ± *

Flujo Promedio (0.01") ± *

(mm) ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

HERMES ARIEL VACCA
REVISO: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-01

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 - 5373 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-07

CODIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13(11)

PROYECTO: IDU 038 - 039

Referencia: P024_P25-1_2_2_3_4_5_6_7_11

Fecha Recepción: 2013-04-11

Descripción: Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 6.5 % Asfalto con Cal

Fecha de Ensayo: 2013-04-16

Probeta No		17	18	19
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Cal marca CALCO,Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 6.5 % Asfalto con Cal	Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 6.5 % Asfalto con Cal	Briquetas tipo Marshall. MD-12 - 6.5 % Asfalto con Cal
Temperatura Ambiente °C		22.4	22.4	22.4
Estabilidad medida (kg)		1103	1008	958
Altura de la briqueta (mm)		65.1	64.7	64.2
Factor de correlación		0.960	0.970	0.983
Estabilidad corregida	(lbf)	2334	2156	2076
	(kgf)	1059	978	942
	(N)	10388	9592	9238
Flujo	(0.01")	20	20	20
	(mm)	5.08	5.08	5.08

Estabilidad Promedio (lbf) 2189 ± * 711

(kgf) 993 ± * 323

(N) 9739 ± *3165

Flujo Promedio (0.01") 20.0 ± 2.1*

(mm) 5.08 ± 0.54*

OBSERVACIONES: _____

Probeta No		---	--	---
Muestra		---		
Localización		---		
Descripción		---	---	---
Temperatura Ambiente °C		---	---	---
Estabilidad medida (kg)		--	---	---
Altura de la briqueta (mm)		---	---	---
Factor de correlación		---	---	---
Estabilidad corregida	(lbf)	---	---	---
	(kgf)	---	---	---
	(N)	---	---	---
Flujo	(0.01")	---	---	---
	(mm)	---	---	---

Estabilidad Promedio (lbf) ± *

(kg) ± *

(N) ± *

Flujo Promedio (0.01") ± *

(mm) ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

VoBo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-08

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J.Bogotá
Tel.: (57-1) 3208320 Ext 5268/69 Fax: Ext 5255

DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS - METODO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF 2-01

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-98

Suplemento al informe LAB_P024 Y P025 (11)_13 (1) de fecha 06 de Mayo de 2013.

CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025 -13(11) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

REFERENCIA: 024 y 025_1_2_3_4_5_6_7.

LOCALIZACIÓN: ---

DESCRIPCIÓN: Diseño de mezcla asfáltica MD 12, método Marshall con ligante asfáltico 60 - 70 Barranca.

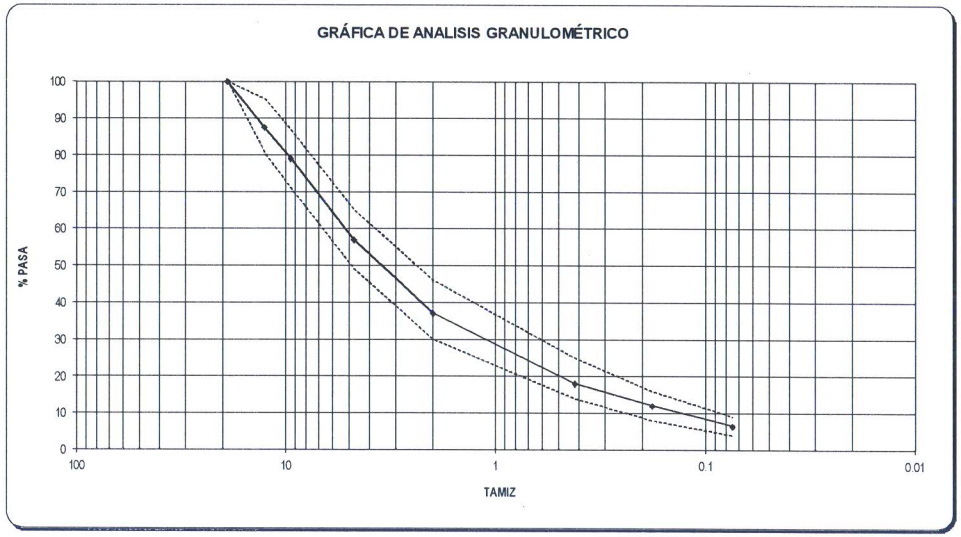
MUESTRA: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja

FECHA DE RECEPCIÓN: 2013-04-11

FECHA DE ENSAYO: 2013-04-24

I. GRADACIÓN COMBINADA PARA LA MEZCLA

Tamaño Tamiz	pg	Tamaño Tamiz - % Pasa									% Óptimo de c/material
	mm	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	80	200	
		25.4	19.1	12.7	9.53	4.76	2	0.42	0.18	0.075	
COMBINADO		100	100.0	87.5	79.0	57.0	37.0	18.0	12.0	6.5	100.0
---		--	--	--	--	--	--	--	--	---	--
---		--	--	--	--	--	--	--	--	---	--
---		--	--	--	--	--	--	--	--	---	--
		---	---	---	---	---	---	---	---	---	--
			100	88	79	57	37	18	12	7	
ESPECIFICACION			100	95	87	65	46	25	16	9	
MD-12			100	80	71	49	30	14	8	4	
Tamiz mm			19	12.5	9.5	4.75	2	0.425	0.18	0.075	



II. DISEÑO DE LA MEZCLA

CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO : 5.4 %

TEMPERATURA DE MEZCLA : 150 °C

TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN: 140 °C

III. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

CARACTERISTICA	UND	DISEÑO	ESPECIFICACION
DENSIDAD BULK	kg/m^3	---	---
ESTABILIDAD	kg	1640	900
VACIOS CON AIRE	%	4	4-6
VACIOS LLENOS DE ASFALTO	%	73	65-75
FLUJO	mm	3.6	2-3.5
VACIOS EN AGREG. MINERAL	min	14.3	≥ 15

IV. OBSERVACIONES

Diseño de mezcla asfáltica sin Cal.
La dosificación fue asignada por el cliente.
Especificaciones IDU Tabla 510.7

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

2/-

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-08

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVER
FACULTAD DE INGEN
DEPARTAMENTO INGENIERÍA
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J.B
Tel.: (57-1) 3208320 Ext 5373 Fax: Ext

DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS - METODO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01 — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 7

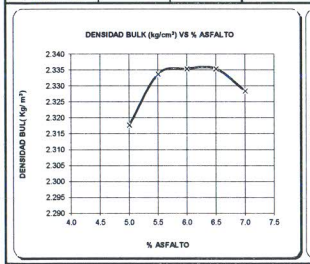
Suplemento al informe LAB_P024 Y P025 (11)_13 (1) de fecha 06 de Mayo de 2013.

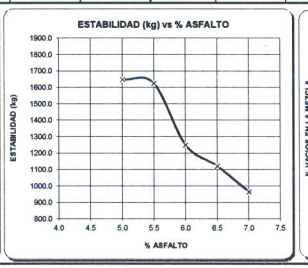
CÓDIGO ORDEN: P024 Y P025 -13(11) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039
REFERENCIA: 024 y 025_1_2_3_4_5_6_7. **FECHA DE RECEPCIÓN:** 2013-04-11
LOCALIZACIÓN: --- **FECHA DE ENSAYO:** 2013-04-22
DESCRIPCIÓN: Diseño de mezcla asfáltica MD 12, método Marshall con ligante asfáltico 60 - 70 Barranca.
MUESTRA: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja

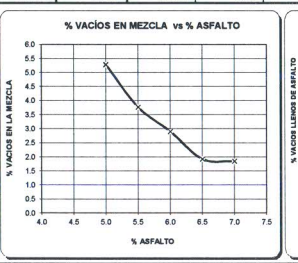
Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural(Rio Coello):	Muestras 2-4-5-6 (gruesos)	Gs	2.574
Arena de peña (Ingescol Soacha):	024-025-7	Gs	2.509
Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar).	024 - 025-3	Gs	2.560
Ligante asfáltico Barrancabermeja	024-025-1	Gs	

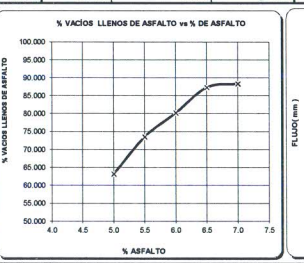
Gs ASFALTO : 1.008
Gs AGREGADOS PARA DISEÑO : 2.570

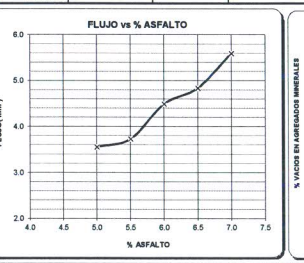
MEZCLA No.	% DE ASFALTO	% ASFALTO DISEÑO	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	PESO UNITARIO g/cm³	% DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	CARGA (kg)	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	ESTABILIDAD (kg)	FLUJO mm	RELACIO ESTABILID FLUJO
			SECA EN AIRE	S.S.S EN AIRE	EN AGUA	BULK	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADOS	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO										kg/mm
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	L	m	n	o	p						r	s	
						$\frac{d}{e-f}$			$\frac{(i-h)\,10}{h\,(100-b)}$	$\frac{(100-b)\,g}{G\,agr}$	$\left(1-\frac{g}{i}\right)*100$	100 - K - L	100 - K	$b - \frac{J\,(100-b)}{100}$		(m / n)*100						
1	5.0	5.0	1172.8	1178.1	669.6	2.309											1524	0.998	1521		3.8	400
2	5.0	5.0	1181.5	1184.5	673.1	2.313											1660	0.975	1619		3.8	426
3	5.0	5.0	1183.9	1186.4	677.9	2.331											1806	0.998	1802		3.1	590
PROMEDIO						**2.318**	**2.385**	**2.447**	**1.112**	**85.66**	**5.29**	**9.05**	**14.34**	**3.94**	**2.318**	**63.137**				**1,647**	**3.6**	**472**
1	5.5	5.5	1182.6	1184.2	679.0	2.343											1621	1.000	1621		3.6	455
2	5.5	5.5	1179.2	1181.3	678.0	2.345											1626	1.000	1626		3.8	426
3	5.5	5.5	1179.4	1185.4	675.0	2.313											1619	1.003	1624		3.8	426
PROMEDIO						**2.334**	**2.368**	**2.425**	**1.045**	**85.80**	**3.77**	**10.43**	**14.20**	**4.51**	**2.334**	**73.478**				**1,624**	**3.7**	**441**
1	6.0	6.0	1178.7	1180.3	674.3	2.332											1169	1.000	1169		4.6	255
2	6.0	6.0	1177.1	1178.7	674.7	2.338											1284	1.008	1294		4.6	283
3	6.0	6.0	1180.2	1881.5	672.1	2.336											1297	0.990	1284		4.3	297
PROMEDIO						**2.335**	**2.351**	**2.405**	**1.007**	**85.41**	**2.90**	**11.70**	**14.59**	**5.05**	**2.335**	**80.151**				**1,249**	**4.5**	**269**
1	6.5	6.5	1176.4	1177.6	671.9	2.329											1136	1.008	1145		4.8	237
2	6.5	6.5	1165.5	1166.4	667.3	2.338											1049	1.032	1083		4.8	224
3	6.5	6.5	1179.0	1179.7	675.1	2.339											1114	1.016	1132		4.8	234
PROMEDIO						**2.335**	**2.335**	**2.381**	**0.887**	**84.95**	**1.92**	**13.13**	**15.05**	**5.67**	**2.335**	**87.254**				**1,120**	**4.8**	**230**
1	7.0	7.0	1165.4	1165.9	667.0	2.338											952	1.046	996		5.1	196
2	7.0	7.0	1165.6	1166.3	664.1	2.323											945	1.027	971		5.8	166
3	7.0	7.0	1178.6	1179.3	671.7	2.324											905	1.021	924		5.8	158
PROMEDIO						**2.328**	**2.319**	**2.372**	**1.045**	**84.24**	**1.84**	**13.91**	**15.76**	**6.03**	**2.328**	**88.316**				**964**	**5.6**	**181**

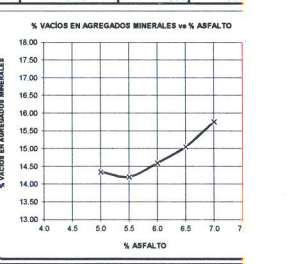












OBSERVACIONES

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

Vo Bo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: INGENIERO DE LABORATORIO

2/2

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN P024-13 Y P025-13(11) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: 024 Y 25-1_2_3_4_5_6_7.

Descripción: Mezcla asfaltica MD 12 con ligante asfáltico 60 -70 Barrancabermeja.

Fecha recepción: 2013-04-11

Fecha de ensayo: 2013-04-22

Tipo de Mezcla MD-12 - 5.0% Asfalto 60-70.

Método Utilizado A

Briqueta No			41	42	43	----	----
Temperatura del agua		°C	19	19.1	19.1	----	----
Temperatura ambiente		°C	21	20.8	20.8	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1172.8	1181.5	1183.9	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1178.1	1184.5	1186.4	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	669.6	673.1	677.9	----	----
Constante de corrección k			1.001364	1.001364	1.001364	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$			2.309 ± 0.019 *	2.313 ± 0.019 *	2.331 ± 0.019 *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$		kg/m^3	2301.8 ± 19.3 *	2305.7 ± 19.3 *	2323.6 ± 19.5 *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	1.042 ± 0.461 *	0.587 ± 0.259 *	0.492 ± 0.217 *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla ----

Método Utilizado ---

Briqueta No			----	----	----	----	----
Temperatura del agua		°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente		°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k			----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$			---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$		kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LA LABORATORIO

Vo Bo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN: P024-13 Y P025-13(11)	**PROYECTO:** IDU 038 Y 039		
Referencia: 024 Y 25-1_2_3_4_5_6_7. Mezcla asfaltica MD 12 con ligante asfáltico 60 -70		Fecha recepción:	2013-04-11
Descripción: Barrancabermeja.		Fecha de ensayo:	2013-04-22

Tipo de Mezcla: MD-12 - 5.5% Asfalto 60-70. Método Utilizado: A

Briqueta No		46	47	48	----	----
Temperatura del agua	°C	19	19.1	19.1	----	----
Temperatura ambiente	°C	21	20.8	20.8	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	1182.6	1179.2	1179.4	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	1184.2	1181.3	1185.4	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	679.0	678	675	----	----
Constante de corrección k		1.001364	1.001364	1.001364	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25^oC}$		2.343 ± 0.019 *	2.345 ± 0.019 *	2.313 ± 0.019 *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25^oC}$	kg/m^3	2336.2 ± 19.6 *	2338.3 ± 19.6 *	2306.1 ± 19.3 *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	0.317 ± 0.140 *	0.417 ± 0.184 *	1.176 ± 0.519 *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No		----	----	----	----	----
Temperatura del agua	°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente	°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k		----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25^oC}$		---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25^oC}$	kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:CORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN P024-13 Y P025-13(11) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: 024 Y 25-1_2_3_4_5_6_7. Fecha recepción: 2013-04-11

Descripción: Mezcla asfaltica MD 12 con ligante asfáltico 60 -70 Barrancabermeja. Fecha de ensayo: 2013-04-22

Tipo de Mezcla MD-12 - 6.0% Asfalto 60-70. Método Utilizado A

Briqueta No			49	51	52	----	----
Temperatura del agua		°C	19	19.1	19.1	----	----
Temperatura ambiente		°C	21	20.8	20.8	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1178.7	1177.1	1180.2	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1180.3	1178.7	1181.5	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	674.3	674.7	675.7	----	----
Constante de corrección k			1.001364	1.001364	1.001364	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$			2.332 ± 0.019 *	2.338 ± 0.019 *	2.336 ± 0.019 *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$		kg/m^3	2324.8 ± 19.5 *	2330.9 ± 19.5 *	2328.7 ± 19.5 *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.316 ± 0.140 *	0.317 ± 0.140 *	0.257 ± 0.114 *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla ---- Método Utilizado ---

Briqueta No			----	----	----	----	----
Temperatura del agua		°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente		°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k			----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$			---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$		kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:CORDINADOR DE LABORATORIO

VoBo DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN	P024-13 Y P025-13	**PROYECTO:**	IDU 038 Y 039
Referencia:	024 Y 25-1_2_3_4_5_6_7.	Fecha recepción:	2013-04-11
Descripción:	Mezcla asfaltica MD 12 con ligante asfáltico 60 -70 Barrancabermeja.	Fecha de ensayo:	2013-04-22

Tipo de Mezcla: MD-12 - 6.5% Asfalto 60-70. Método Utilizado: A

Briqueta No			53	54	55	----	----
Temperatura del agua		°C	19	19.21	19.1	----	----
Temperatura ambiente		°C	21	20.8	20.8	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1176.4	1165.5	1179	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1177.6	1166.4	1179.7	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	671.9	667.3	675.1	----	----
Constante de corrección k			1.001364	1.001364	1.001364	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2.329 ± 0.019 *	2.338 ± 0.019 *	2.339 ± 0.019 *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2321.6 ± 19.4 *	2330.6 ± 19.5 *	2331.8 ± 19.5 *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.237 ± 0.105 *	0.180 ± 0.080 *	0.139 ± 0.061 *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No			----	----	----	----	----
Temperatura del agua		°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente		°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k			----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:CORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN P024-13 Y P025-13(11)	**PROYECTO:**	IDU 038 Y 039	
Referencia: 024 Y 25-1_2_3_4_5_6_7. Mezcla asfaltica MD 12 con ligante asfáltico 60 -70		Fecha recepción:	2013-04-11
Descripción: Barrancabermeja.		Fecha de ensayo:	2013-04-22

Tipo de Mezcla: MD-12 - 7.0% Asfalto 60-70. Método Utilizado: A

Briqueta No		58	59	60	----	----
Temperatura del agua	°C	19	19.1	19.1	----	----
Temperatura ambiente	°C	21	20.8	20.8	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	1165.4	1165.6	1178.6	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	1165.9	1166.3	1179.3	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	667.0	664.1	671.7	----	----
Constante de corrección k		1.001364	1.001364	1.001364	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$		2.338 ± 0.019 *	2.323 ± 0.019 *	2.324 ± 0.019 *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$	kg/m^3	2331.3 ± 19.5 *	2316.4 ± 19.4 *	2317.3 ± 19.4 *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	0.100 ± 0.044 *	0.139 ± 0.062 *	0.138 ± 0.061 *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No		----	----	----	----	----
Temperatura del agua	°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente	°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k		----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$		---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$	kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:CORDINADOR DE LABORATORIO

Vo.Bo.
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-05

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm) Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-05

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 735-07

CÓDIGO ORDEN:	P024-13 Y P025-13(11)	**PROYECTO:**	IDU 038 Y 039
Referencia:	024 Y 25-1_2_3_4_5_6_7. Mezcla asfáltica MD-12 con 5.0 % Asfalto 60 -70	Fecha de recepción:	2013-04-11
Descripción:	Barrancabermeja	Fecha de ensayo:	2013-04-15

Tipo de recipiente: Taza de vacio Tipo de procedimiento:

Prueba No.		1	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	2383.6	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	8757.6	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	7348.0	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A + D - E))		2.447 ± 0.007 *	----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *

OBSERVACIONES:

Prueba No.		-----	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A - (E - D))		----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

VoBo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO ELÁSTICO - CURVA MAESTRA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-03 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 749-07

CODIGO ORDEN:)24 Y P025 (13) **PROYECTO:** PROYECTO IDU

Referencia: 024 y 025 **Fecha Recepción:** 2013-04-11

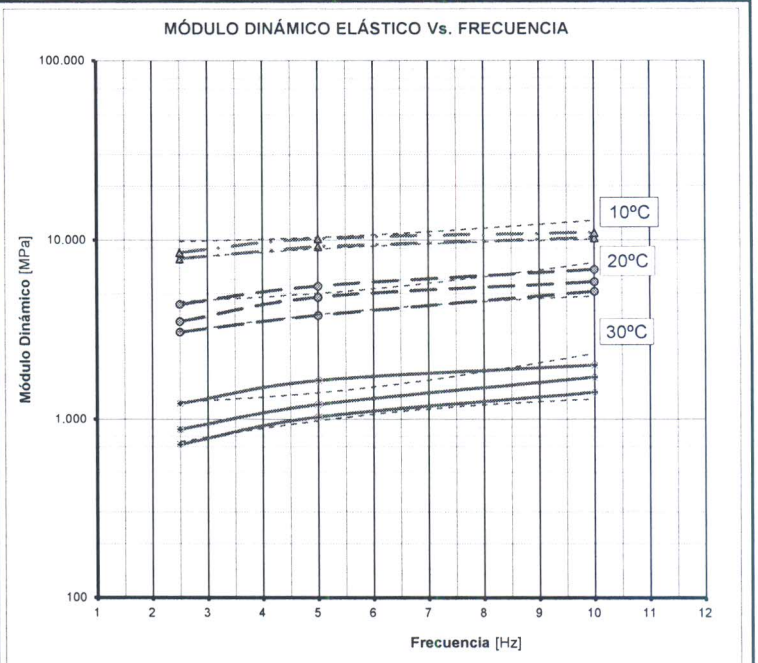
Descripción: Briquetas tipo Marshall MD-12, con cemento asfáltico Barrancabermeja 60-70 **Fecha de Ensayo:** 2013-04-08

Muestra: Briquetas 1-1, 1-2 y 1-3.

Ts = 10 °C

T [°C]	Referencia	f [Hz]	X	Módulo Dinámico [MPa]
10	1-1.	2,50	0,92	9454,00
		5,00	1,61	10760,50
		10,00	2,30	12543,00
	1-2.	2,50	0,92	7850,50
		5,00	1,61	9193,50
		10,00	2,30	10261,50
	1-3.	2,50	0,92	8497,00
		5,00	1,61	10166,00
		10,00	2,30	11005,50
20	1-1.	2,50	-2,12	4365,50
		5,00	-1,43	5514,50
		10,00	-0,73	6837,50
	1-2.	2,50	-2,12	3061,00
		5,00	-1,43	3787,00
		10,00	-0,73	5145,00
	1-3.	2,50	-2,12	3508,00
		5,00	-1,43	4772,50
		10,00	-0,73	5819,00
30	1-1.	2,50	-4,96	1221,00
		5,00	-4,26	1643,00
		10,00	-3,57	1998,50
	1-2.	2,50	-4,96	720,50
		5,00	-4,26	1028,50
		10,00	-3,57	1413,00
	1-3.	2,50	-4,96	877,00
		5,00	-4,26	1207,00
		10,00	-3,57	1714,50

ISOTERMAS

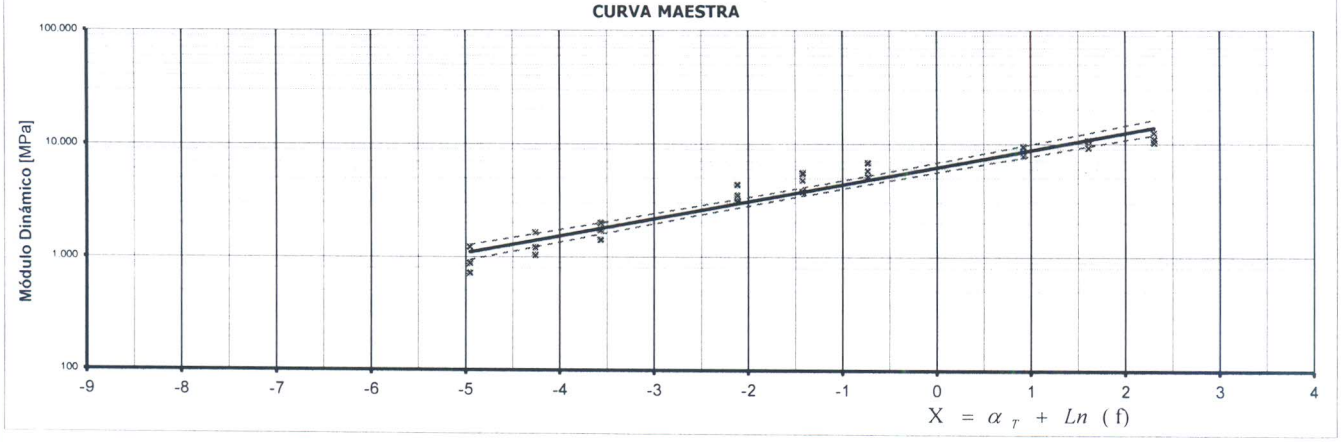


$$X = \alpha_T + Ln(f)$$

$$\alpha_T = 2{,}52 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s}\right)$$

X = Parámetro de reducción de la Curva Maestra.
α_T = factor de modificación en función de la temperatura.
f = frecuencia de la prueba en Hz.
T= Temperatura absoluta de la prueba (T=T°C+273,15).
Ts= Temperatura absoluta de referencia (Ts=Ts°C+273,15).

CURVA MAESTRA



OBSERVACIONES: Las líneas puntedas corresponden a intevalos con un nivel de confianza de 99%.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: TECNÓLOGO

VoBo
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF3-03

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005 09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO ELÁSTICO - CURVA MAESTRA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-03 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 749-07

CODIGO ORDEN: P025-13 **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: P024-P025-MD_12-Asfálto N°1 **Fecha Recepción:** 2013-04-11

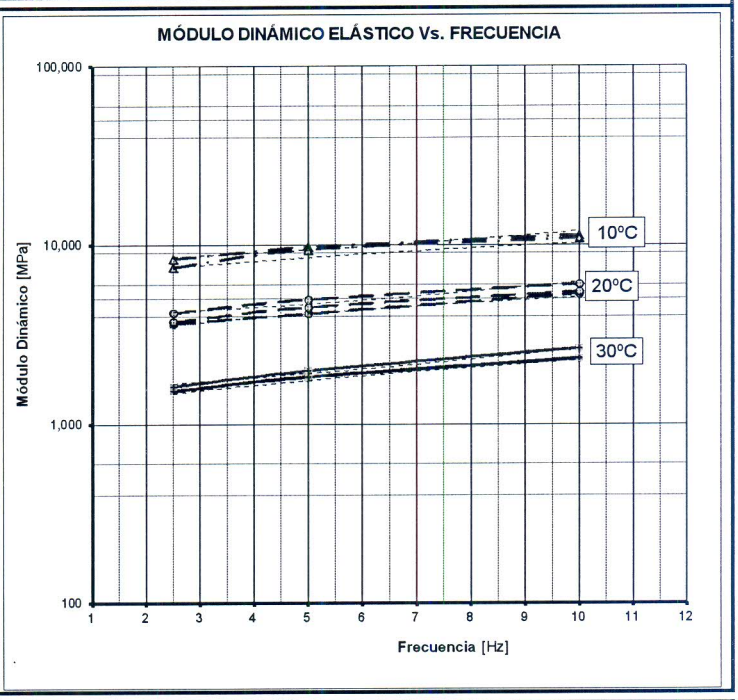
Descripción: Briqueta Tipo Marshall. **Fecha de Ensayo:** 2013-05-28

Muestra: MD-12 con asfálto Barrancabermeja 60-70 (STOA)

Ts = 10 °C

T [°C]	Referencia	f [Hz]	X	Módulo Dinámico [MPa]
10	P024-P025_1_1	2.50	0.92	7577.50
		5.00	1.61	8778.50
		10.00	2.30	10477.50
	P024-P025_2_2	2.50	0.92	8316.00
		5.00	1.61	9734.50
		10.00	2.30	11283.00
	P024-P025_3_3	2.50	0.92	7464.00
		5.00	1.61	9345.50
		10.00	2.30	10827.50
20	P024-P025_2_1	2.50	-2.12	3610.50
		5.00	-1.43	4121.00
		10.00	-0.73	5302.50
	P024-P025_2_2	2.50	-2.12	4160.50
		5.00	-1.43	4932.50
		10.00	-0.73	6011.50
	P024-P025_2_3	2.50	-2.12	3708.00
		5.00	-1.43	4469.50
		10.00	-0.73	5452.50
30	P024-P025_3_1	2.50	-4.96	1529.50
		5.00	-4.26	1824.50
		10.00	-3.57	2312.50
	P024-P025_3_2	2.50	-4.96	1620.50
		5.00	-4.26	1978.50
		10.00	-3.57	2642.00
	P024-P025_3_3	2.50	-4.96	1524.50
		5.00	-4.26	1834.50
		10.00	-3.57	2323.50

ISOTERMAS

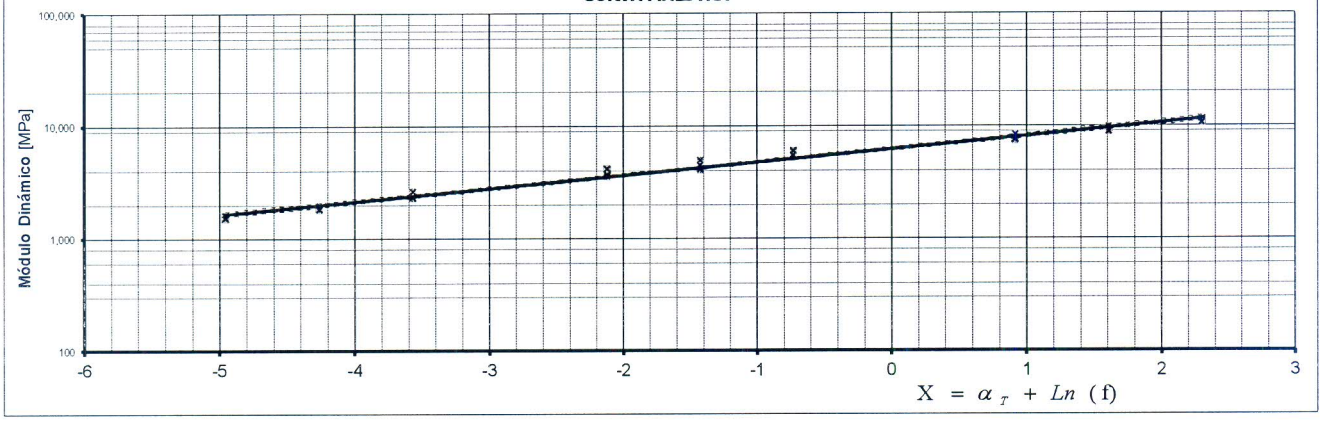


$$X = \alpha_T + Ln(f)$$

$$\alpha_T = 2{,}52 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s}\right)$$

X = Parámetro de reducción de la Curva Maestra.
α_T = factor de modificación en función de la temperatura.
f = frecuencia de la prueba en Hz.
T= Temperatura absoluta de la prueba (T=T°C+273,15).
Ts= Temperatura absoluta de referencia (Ts=Ts°C+273,15).

CURVA MAESTRA



OBSERVACIONES: Las líneas puntedas corresponden a intevalos con un nivel de confianza de 99%.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:COORDINADOR DE LABORATORIO

HERMES ARIEL VACCA
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

1/2

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO ELÁSTICO - CURVA MAESTRA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-03 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 749-07

CODIGO ORDEN: P025-13(27) **PROYECTO:** IDU 038

Referencia: P024-P025-1 **Fecha Recepción:** 2013-07-19

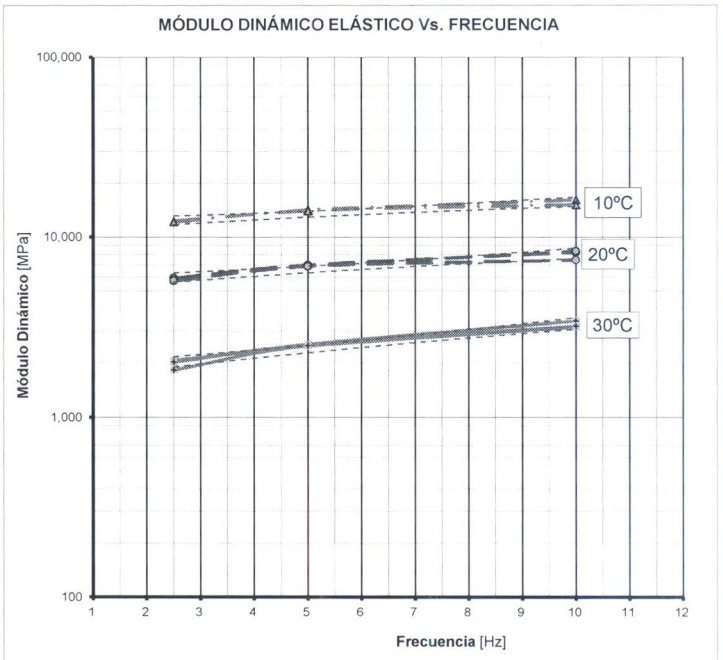
Descripción: Briqueta Tipo Marshall. **Fecha de Ensayo:** 2013-07-22

Muestra: MD-12 con asfálto Barrancabermeja 60-70 (LTOA)

Ts = 10 °C

T [°C]	Referencia	f [Hz]	X	Módulo Dinámico [MPa]
10	P024 y P025 - 1-1	2.50	0.92	11670.00
		5.00	1.61	14043.00
		10.00	2.30	15148.50
	P024 y P025 - 1-2	2.50	0.92	12285.50
		5.00	1.61	14267.50
		10.00	2.30	16168.00
	P024 y P025 - 1-3	2.50	0.92	12146.50
		5.00	1.61	14017.00
		10.00	2.30	15180.00
20	P024 y P025 - 1-4	2.50	-2.12	5693.50
		5.00	-1.43	6892.50
		10.00	-0.73	7456.50
	P024 y P025 - 1-5	2.50	-2.12	5915.50
		5.00	-1.43	7001.50
		10.00	-0.73	8248.00
	P024 y P025 - 1-6	2.50	-2.12	5766.00
		5.00	-1.43	6890.00
		10.00	-0.73	8362.00
30	P024 y P025 - 1-7	2.50	-4.96	2069.00
		5.00	-4.26	2484.00
		10.00	-3.57	3164.50
	P024 y P025 - 1-8	2.50	-4.96	2023.50
		5.00	-4.26	2536.50
		10.00	-3.57	3422.50
	P024 y P025 - 1-9	2.50	-4.96	1826.00
		5.00	-4.26	2497.00
		10.00	-3.57	3202.00

ISOTERMAS

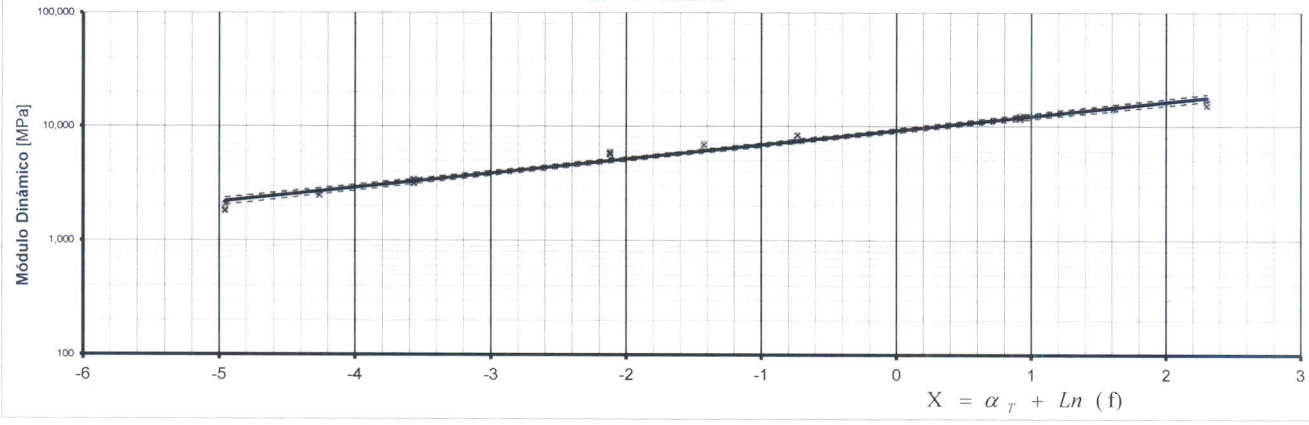


$$X = \alpha_T + Ln(f)$$

$$\alpha_T = 2{,}52 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s}\right)$$

X = Parámetro de reducción de la Curva Maestra.
α_T = factor de modificación en función de la temperatura.
f = frecuencia de la prueba en Hz.
T= Temperatura absoluta de la prueba (T=T°C+273,15).
Ts= Temperatura absoluta de referencia (Ts=Ts°C+273,15).

CURVA MAESTRA



OBSERVACIONES: Las líneas puntedas corresponden a intevalos con un nivel de confianza de 99%.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF3-04

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FATIGA - ESFUERZO CONTROLADO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-04 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: EN 12697-24-E:2000

Suplemento al informe LAB_P024 Y P025(13)_13(4) de fecha 19 de Junio de 2013

CODIGO ORDEN: P024 Y P025-13 (13) **PROYECTO:** **IDU 038 Y 039**

Referencia: 024 y 025_1_2_3_4_5_6_7.
Descripción: Briquetas Tipo Marshall.(STOA)
Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico
Muestra: Barrancabermeja

Fecha Recepción: 2013-04-11
Fecha de Ensayo: 2013-11-22

MUESTRA	TEMP. [°C]	FREC. [Hz]	σ_{max} [kPa]	ε_0 ; N 100 $[\mu\varepsilon]$	S_{me} [MPa]	Ciclos de falla N_f	OBSERVACIONES
1_2	20	2.5	600	891	1,381	609	
1_5	20	2.5	400	368	2,231	6,171	
1_6	20	2.5	350	781	919	1,594	
1_7	20	2.5	300	408	1,509	19,015	
1_8	20	2.5	300	265	2,323	39,711	
1_10	20	2.5	200	299	1,371	39,504	
1_11	20	2.5	200	217	1,888	148,553	
1_13	20	2.5	100	99	2,072	2,019,609	
1_14	20	2.5	100	223	918	760,504	

$$\varepsilon_{x,\max} = \frac{\sigma_{x,\max} \cdot (1+3\cdot\nu)}{S_{me}} \cdot 1.000$$

$\varepsilon_{x,\max}$: Deformación inicial horizontal máxima de tensión en el centro de la muestra
$\sigma_{x,\max}$: Esfuerzo máximo de tensión aplicado en el centro de la muestra
S_{me} : Módulo Dinámico Elástico bajo un esfuerzo controlado de
ν : Relación de Poisson's asumida como 0,35

Nota 1: ***si R^2 <0,90*** se debe ensayar una nueva muestra y agregarla al rango de datos, si después de agregar 10 datos nuevos ***R^2 < 0,90***, se debe reportar un informe con el significado estadístico de los datos.

OBSERVACIONES:

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

1/2

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF3-04

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FATIGA - ESFUERZO CONTROLADO

INFORME DE ENSAYO

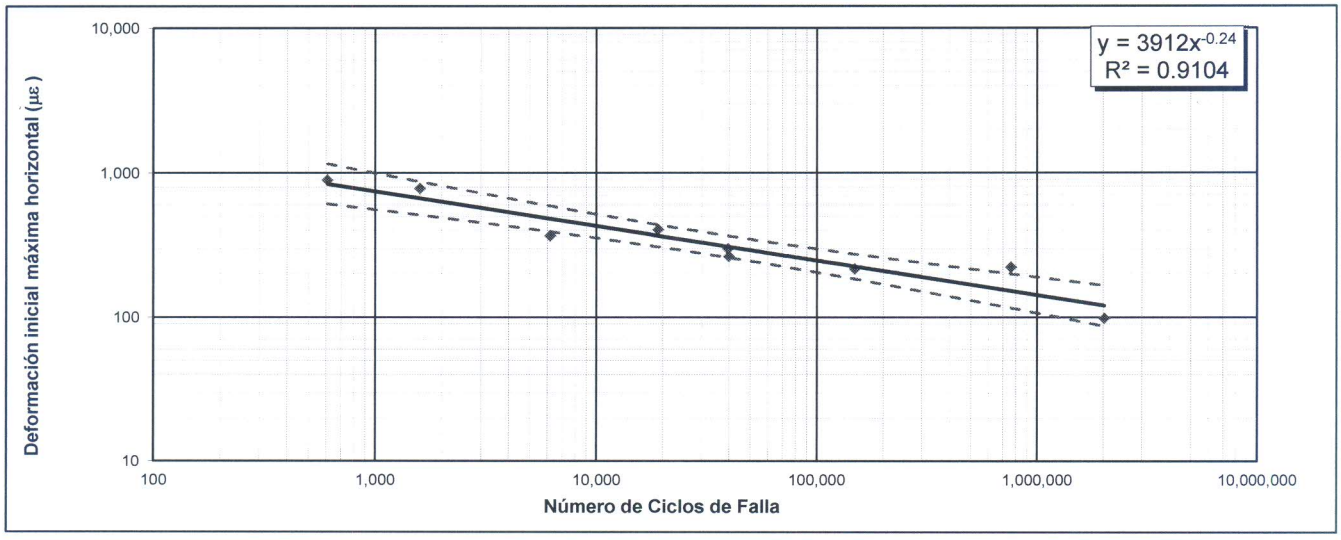
INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-04 | PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: EN 12697-24-E:2000

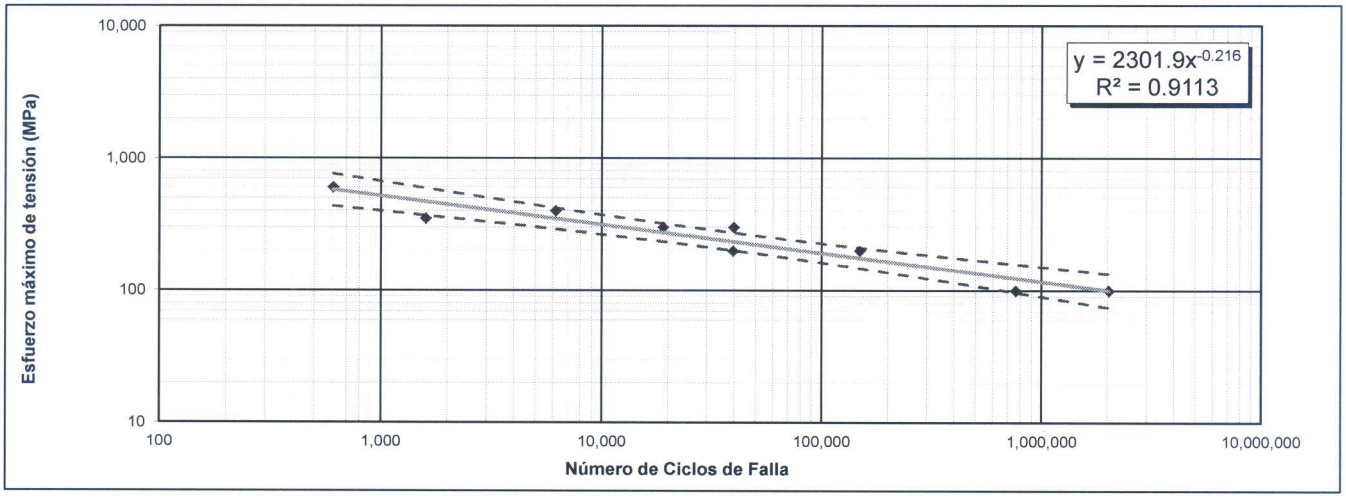
Suplemento al informe LAB_P024 Y P025(13)_13(4) de fecha 19 de Junio de 2013

CODIGO ORDEN: P024 Y P025-13 (13) | **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

Referencia: 024 y 025_1_2_3_4_5_6_7.
Descripción: Briquetas Tipo Marshall.(STOA)
Localización: ----
Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja

Fecha Recepción: 2013-04-11
Fecha de Ensayo: 2013-11-22





OBSERVACIONES: Las líneas puntedas corresponden a intevalos con un nivel de confianza de 99%.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF3-04

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FATIGA - ESFUERZO CONTROLADO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-04

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: EN 12697-24-E:2000

Suplemento del suplemento al informe LAB_P025(27)_13(4) de fecha 27 de Septiembre de 20.

CODIGO ORDEN: P025-13 (27) | **PROYECTO: IDU 039**

Referencia: P024 y 025_1_2_3_4_5_6_7.

Descripción: Briquetas Tipo Marshall MD - 12 Asfalto Barrancabermeja 60-70 (LTOA). Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico

Muestra: Barrancabermeja

Fecha Recepción: 2013-07-19

Fecha de Ensayo: 2013-12-05

MUESTRA	TEMP. [°C]	FREC. [Hz]	σ_{max} [kPa]	ε_o ; N_{100} [$\mu\varepsilon$]	S_{me} [MPa]	Ciclos de falla N_f	OBSERVACIONES
1_7	20	2.5	350	257	2,792	23,066	
1_9	20	2.5	350	177	4,056	19,029	
1_8	20	2.5	300	394	1,560	26,042	
1_10	20	2.5	300	64	9,548	22,045	
1_11	20	2.5	250	116	4,431	107,131	
1_1	20	2.5	200	155	2,642	369,656	
1_6	20	2.5	100	68	3,034	751,526	

$$\varepsilon_{x,max} = \frac{\sigma_{x,max} \cdot (1+3 \cdot \nu)}{S_{me}} \cdot 1.000$$

$\varepsilon_{x,max}$: Deformación inicial horizontal máxima de tensión en el centro de la muestra

$\sigma_{x,max}$: Esfuerzo máximo de tensión aplicado en el centro de la muestra

S_{me} : Módulo Dinámico Elástico bajo un esfuerzo controlado de

ν : Relación de Poisson's asumida como 0,35

Nota 1: ***si R^2 <0,90*** se debe ensayar una nueva muestra y agregarla al rango de datos, si después de agregar 10 datos nuevos ***R^2 < 0,90***, se debe reportar un informe con el significado estadístico de los datos.

OBSERVACIONES:

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF3-04

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FATIGA - ESFUERZO CONTROLADO

INFORME DE ENSAYO

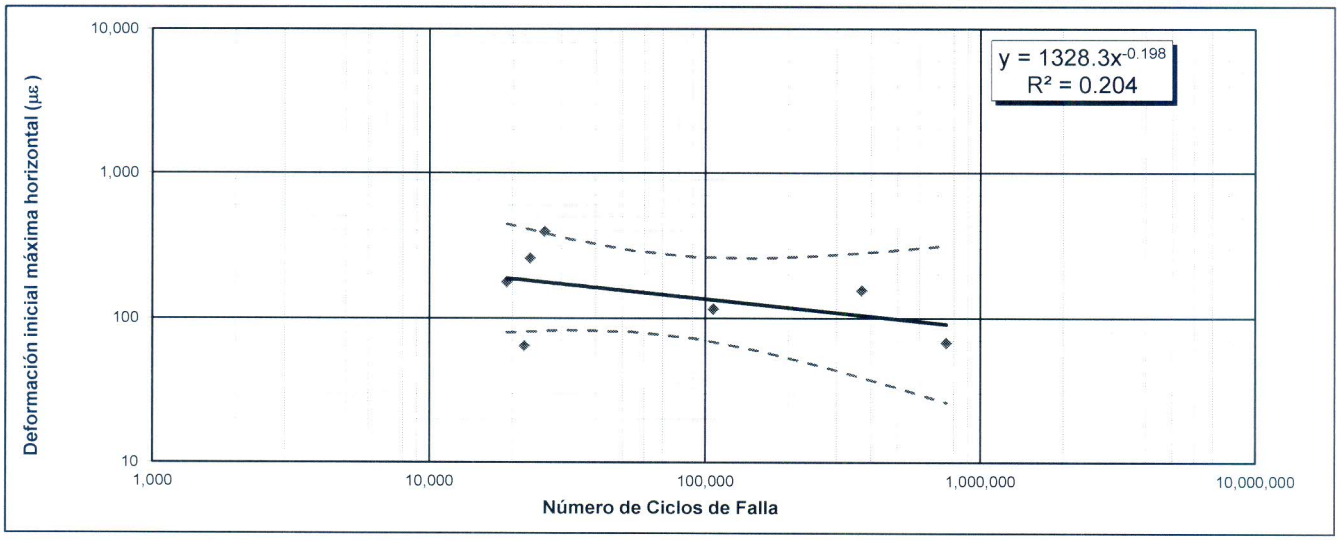
INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-04 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: EN 12697-24-E:2000

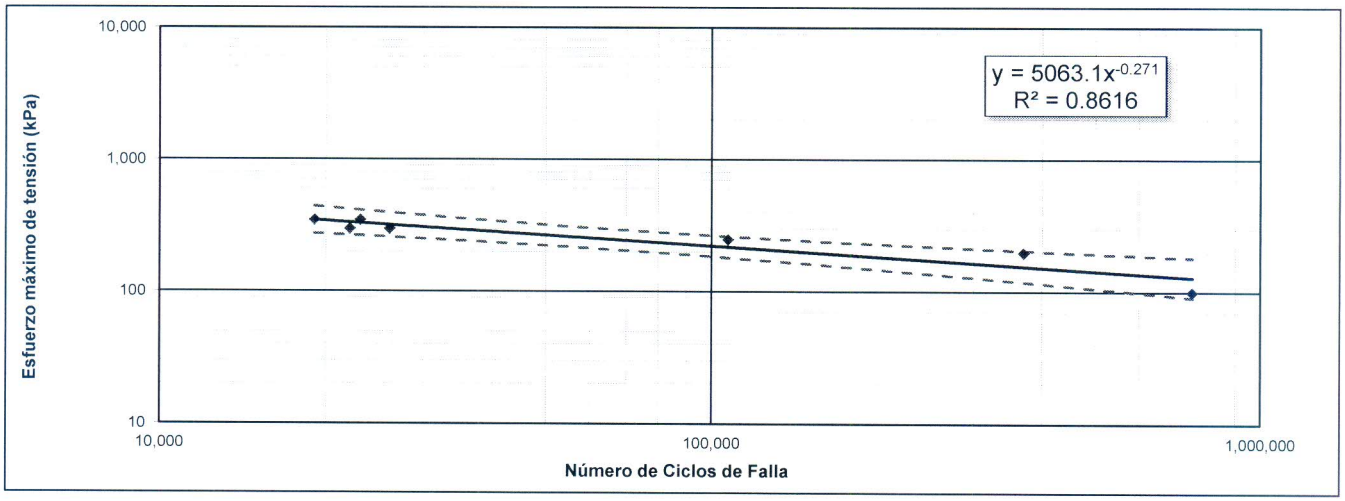
Suplemento del suplemento al informe LAB_P025(27)_13(4) de fecha 27 de Septiembre de 2013

CODIGO ORDEN: P025-13 (27) **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: P024 y 025_1_2_3_4_5_6_7.
Descripción: Briquetas Tipo Marshall MD - 12 Asfalto Barrancabermeja 60-70 (LTOA).
Localización: ----
Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico
Muestra: Barrancabermeja

Fecha Recepción: 2013-07-19
Fecha de Ensayo: 2013-09-19





OBSERVACIONES: Las líneas puntedas corresponden a intevalos con un nivel de confianza de 99%.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN: P024 y 025(13)-13 PROYECTO: IDU 038 - 039

Referencia: P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7_11.

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Cal marca CALCO,Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja

Descripción: Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto 60/70.

Fecha de recepción: 2013-04-11

Fecha de ensayo: 2013-05-02

1. RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA

1.1 CONDICIÓN DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO SECO*

Referencia	6	1	4
Altura del espécimen (mm)	69,7	68,1	68,2
Diametro del espécimen (mm)	100,0	100,0	100,0
Vacios (%)	7,2	6,6	6,6
Promedio Vacios (%)		6,8	
Lectura de carga (kg)	987	1130	1250
Carga Máxima (N)	9682,5	11085,3	12262,5
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	884,6	1036,9	1144,1

Promedio Resistencia a la Tensión S_1 (kPa) **1021,9**

1.2. CONDICION DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	2	3	5
Altura del espécimen (mm)	70,1	68,8	69,5
Diametro del espécimen (mm)	100,0	100,0	100,0
Vacios (%)	7,2	6,8	6,9
Promedio Vacios (%)		7,0	
Lectura de carga (kg)	958	894	1073
Carga Máxima (N)	9398,0	8770,1	10526,1
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	854,0	812,0	964,4

Promedio Resistencia a la Tensión S_2 (kPa) **876,8**

1.3 RELACIÓN DE RESISTENCIAS A LA TENSIÓN (TSR) **(S_2/S_1)=** **85,8**

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

Vo Bo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

1/16

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN: P024 y 025(13)-13 | PROYECTO: IDU 038 - 039

Referencia: P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7_11.

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Cal marca CALCO,Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja

Descripción: Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto 60/70.

Fecha de recepción: 2013-04-11

Fecha de ensayo: 2013-05-02

2. DETERMINACION DEL GRADO DE SATURACION *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	2	3	5
Peso del espécimen seco al aire (g)	1192,2	1186,7	1188,2
Peso del espécimen después de someterlo a vacío (g)	1221,1	1212,6	1213,2
Volumen de agua absorbida (cm^3)	28,9	25,9	25,0
Volumen inicial del espécimen (cm^3)	527,4	525,9	526,8
Volumen de vacios (cm^3)	38,0	35,8	36,3
Saturación (%)	76,1	72,4	68,8
Grado promedio de saturación después de la saturación parcial (%)	**72,4**		
Peso del espécimen Saturado superficialmente seco (g) (después de la inmersión a 25°C)	1226,4	1217,5	1218,9
Volumen de agua absorbida (después de la inmersión a 25°C) (cm^3)	34,2	30,8	30,7
Saturación (después de la inmersión a 25°C) (%)	90,1	86,1	84,5
Grado promedio de saturación después del acondicionamiento de humedad (%)	**86,9**		

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

Vo Bo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

2/16

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P024 y 025(13)-13	PROYECTO: IDU 038 - 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7_11.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Cal marca CALCO,Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja	Fecha de recepción:	2013-04-11
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto 60/70.	Fecha de ensayo:	2013-05-02

3. DETERMINACION DEL HINCHAMIENTO *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	2	3	5
Peso del espécimen en agua después de someterlo a vacío (g)	683,3	676,6	678,9
Volumen del espécimen después de la saturación parcial (cm^3)	537,8	536,0	534,3
Hinchamiento (%)	2,0	1,9	1,4
Hinchamiento promedio después de la saturación parcial (%)	**1,8**		
Peso del espécimen en agua (g) (después de la inmersión a 25°C)	690,5	678,5	679,3
Volumen del espécimen después del acondicionamiento de humedad (cm^3)	535,9	539,0	539,6
Hinchamiento (después de la inmersión a 25°C) (%)	1,6	2,5	2,4
Hinchamiento promedio después del acondicionamiento de humedad (%)	**2,2**		

OBSERVACIONES: Mezcla asfáltica con Cal.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

3/16

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF2-02

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
04-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN: P024 y 025(13)-13	PROYECTO: IDU 038 Y 039
Referencia: P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7_11.	Fecha de ensayo: 2013-04-30
Descripción: Briquetas Tipo marshall	Fecha de recepción: 2013-04-11

Referencia	1	2	3
Gravedad específica bulk	2,198	2,184	2,194
Gravedad específica máxima teórica	2,353	2,353	2,353
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6,6%	7,2%	6,8%

OBSERVACIONES:

Referencia	4	5	6
Gravedad específica bulk	2,198	2,190	2,184
Gravedad específica máxima teórica	2,353	2,353	2,353
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6,6%	6,9%	7,2%

OBSERVACIONES:

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:CORDINADOR DE LABORATORIO

VoBo Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

4/16

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN P024 Y P025(13)-13	**PROYECTO:**	IDU 038 Y 039	
Referencia: P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7_11.		Fecha recepción:	2013-04-11
Descripción: Briquetas Tipo marshall .		Fecha de ensayo:	2013-04-30

Tipo de Mezcla MD-12 asfalto 60/70 Barrancabermeja con cal. Método Utilizado A

Briqueta No			1	2	3	----	----
Temperatura del agua		°C	20	20	19,7	----	----
Temperatura ambiente		°C	22	22	21,7	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1189,0	1192,4	1186,7	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1193,3	1196,1	1192	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	651,9	649,6	650,5	----	----
Constante de corrección k			1,001364	1,001364	1,001364	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2,198 ± 0,018*	2,184 ± 0,018*	2,194 ± 0,018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2191,9 ± 18,4*	2177,6 ± 18,2*	2187,2 ± 18,3*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0,794 ± 0,351*	0,677 ± 0,299*	0,979 ± 0,433*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla ---- Método Utilizado ---

Briqueta No			4	5	6	----	----
Temperatura del agua		°C	19,7	19,7	17,6	----	----
Temperatura ambiente		°C	21,7	21,7	19,9	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1188,2	1188,2	1188,6	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1192,2	1191,5	1195,1	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	651,0	648,4	650,1	----	----
Constante de corrección k			1,001364	1,001364	1,001734	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2,198 ± 0,018*	2,190 ± 0,018*	2,184 ± 0,018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2191,2 ± 18,4*	2183,5 ± 18,3*	2177,2 ± 18,2*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0,739 ± 0,327*	0,608 ± 0,269*	1,193 ± 0,527*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:CORDINADOR DE LABORATORIO

VoBo DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

5/16

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P024 y 025(13)-13	PROYECTO:	IDU 038 - 039
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja	Fecha de recepción:	2013-04-11
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto 60/70.	Fecha de ensayo:	2013-05-02

1. RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA

1.1 CONDICIÓN DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO SECO*

Referencia	6	1	5
Altura del espécimen (mm)	69,4	68,7	68,3
Diametro del espécimen (mm)	100,0	100,0	100,0
Vacios (%)	7,4	6,6	6,5
Promedio Vacios (%)		6,8	
Lectura de carga (kg)	605	859	1219
Carga Máxima (N)	5935,1	8426,8	11958,4
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	544,4	780,8	1114,8

Promedio Resistencia a la Tensión S_1 (kPa) **813,3**

1.2. CONDICION DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	2	3	4
Altura del espécimen (mm)	69,7	68,8	69,5
Diametro del espécimen (mm)	100,0	100,0	100,0
Vacios (%)	7,7	6,7	7,5
Promedio Vacios (%)		7,3	
Lectura de carga (kg)	587	743	1035
Carga Máxima (N)	5758,5	7288,8	10153,4
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	525,9	674,8	930,3

Promedio Resistencia a la Tensión S_2 (kPa) **710,3**

1.3 RELACIÓN DE RESISTENCIAS A LA TENSIÓN (TSR) **(S_2/S_1)=** **87,3**

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

VoBo DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

6/16

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P024 y 025(13)-13	PROYECTO:	IDU 038 - 039
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja	Fecha de recepción:	2013-04-11
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto 60/70.	Fecha de ensayo:	2013-05-02

2. DETERMINACION DEL GRADO DE SATURACION *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	2	3	4
Peso del espécimen seco al aire (g)	1192,7	1194,7	1191,0
Peso del espécimen después de someterlo a vacío (g)	1221,9	1216,9	1219,8
Volumen de agua absorbida (cm^3)	29,2	22,2	28,8
Volumen inicial del espécimen (cm^3)	533,7	528,6	532,0
Volumen de vacios (cm^3)	41,1	35,4	39,9
Saturación (%)	71,1	62,7	72,2
Grado promedio de saturación después de la saturación parcial (%)	**68,6**		
Peso del espécimen Saturado superficialmente seco (g) (después de la inmersión a 25°C)	1231,4	1224,9	1226,8
Volumen de agua absorbida (después de la inmersión a 25°C) (cm^3)	38,7	30,2	35,8
Saturación (después de la inmersión a 25°C) (%)	94,2	85,3	89,7
Grado promedio de saturación después del acondicionamiento de humedad (%)	**89,7**		

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

Vo Bo
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

7/16

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P024 y 025(13)-13	PROYECTO:	IDU 038 - 039
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja	Fecha de recepción:	2013-04-11
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto 60/70.	Fecha de ensayo:	2013-05-02

3. DETERMINACION DEL HINCHAMIENTO *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	2	3	4
Peso del espécimen en agua después de someterlo a vacío (g)	677,1	677,9	677,9
Volumen del espécimen después de la saturación parcial (cm^3)	544,8	539,0	541,9
Hinchamiento (%)	2,1	2,0	1,9
Hinchamiento promedio después de la saturación parcial (%)	**2,0**		
Peso del espécimen en agua (g) (después de la inmersión a 25°C)	679,8	681,8	680,8
Volumen del espécimen después del acondicionamiento de humedad (cm^3)	551,6	543,1	546,0
Hinchamiento (después de la inmersión a 25°C) (%)	3,4	2,7	2,6
Hinchamiento promedio después del acondicionamiento de humedad (%)	**2,9**		

OBSERVACIONES: Mezcla asfáltica sin Cal.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

8/16

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF2-02

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN: P024 y 025(13)-13	PROYECTO: IDU 038 Y 039
Referencia: P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.	Fecha de ensayo: 2013-04-30
Descripción: Briquetas Tipo marshall	Fecha de recepción: 2013-04-11

Referencia	1	2	3
Gravedad específica bulk	2,264	2,238	2,263
Gravedad específica máxima teórica	2,425	2,425	2,425
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6,6%	7,7%	6,7%

OBSERVACIONES: _____

Referencia	4	5	6
Gravedad específica bulk	2,242	2,267	2,246
Gravedad específica máxima teórica	2,425	2,425	2,425
Porcentaje de Vacios de aire (%)	7,5%	6,5%	7,4%

OBSERVACIONES: _____

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULO: CORDINADOR DE LABORATORIO

VoBo Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISO: ING. DE LABORATORIO

9/16

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN:	P024 y 025(13)-13	**PROYECTO:**	IDU 038 Y 039
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.	Fecha recepción:	2013-04-11
Descripción:	Briquetas tipo Marshall.	Fecha de ensayo:	2013-04-30

Tipo de Mezcla: MD-12 asfalto 60/70 Barrancabermeja sin cal. Método Utilizado: A

Briqueta No		1	2	3	----	----
Temperatura del agua	°C	18	18	17,6	----	----
Temperatura ambiente	°C	20	20	19,9	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	1188,2	1192,7	1194,7	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	1192,5	1195,8	1197,9	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	666,9	662,1	669,3	----	----
Constante de corrección k		1,001734	1,001734	1,001734	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$		2,264 ± 0,018*	2,238 ± 0,018*	2,263 ± 0,018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$	kg/m^3	2256,8 ± 18,9*	2230,9 ± 18,7*	2256,2 ± 18,9*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	0,818 ± 0,362*	0,581 ± 0,257*	0,605 ± 0,268*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No		4	5	6	----	----
Temperatura del agua	°C	17,6	17,6	18,0	----	----
Temperatura ambiente	°C	19,9	19,9	19,0	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	1191,0	1188,9	1180	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	1196,4	1192,3	1190,2	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	664,4	667,1	664,2	----	----
Constante de corrección k		1,001734	1,001734	1,001555	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$		2,242 ± 0,018*	2,267 ± 0,018*	2,246 ± 0,018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$	kg/m^3	2234,9 ± 18,7*	2259,8 ± 18,9*	2239,2 ± 18,8*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	1,015 ± 0,449*	0,647 ± 0,286*	1,939 ± 0,857*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:CORDINADOR DE LABORATORIO

VoBo DANIEL M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-05

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
09-LAB-023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm) Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-05

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 735-07

CÓDIGO ORDEN:	P024 Y P025(13-13	**PROYECTO:**	IDU 038 Y 039
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.	Fecha de recepción:	2013-04-11
Descripción:	Mezcla asfaltica MD-12 60/70 Barrancabermeja sin cal.	Fecha de ensayo:	2013-04-30

Tipo de recipiente: Taza de vacio Tipo de procedimiento: _____

Prueba No.		1	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	2374,4	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	8743,2	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	7348,0	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A + D - E))		2,425 ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *

OBSERVACIONES: _____

Prueba No.		-----	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A - (E - D))		----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

11/16

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN: P024 y 025(28)-13 PROYECTO: IDU 038

Referencia: P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja

Descripción: Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto 60-70 (STOA).

Fecha de recepción: 2013-07-24

Fecha de ensayo: 2013-08-02

1. RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA

1.1 CONDICIÓN DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO SECO*

Referencia	3	6	8
Altura del espécimen (mm)	68.7	69.2	68.3
Diametro del espécimen (mm)	100.1	100.1	100.0
Vacios (%)	6.7	7.1	7.1
Promedio Vacios (%)		7.0	
Lectura de carga (kg)	1290	1280	1304
Carga Máxima (N)	12654.9	12556.8	12792.2
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	1171.4	1153.6	1192.3

Promedio Resistencia a la Tensión S_1 (kPa) **1172.5**

1.2. CONDICION DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	4	9	10
Altura del espécimen (mm)	68.4	68.8	68.7
Diametro del espécimen (mm)	100.1	103.4	100.1
Vacios (%)	6.4	7.4	7.2
Promedio Vacios (%)		7.0	
Lectura de carga (kg)	1054	1121	1082
Carga Máxima (N)	10339.7	10997.0	10614.4
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	961.6	984.0	982.5

Promedio Resistencia a la Tensión S_2 (kPa) **976.0**

1.3 RELACIÓN DE RESISTENCIAS A LA TENSIÓN (TSR) **(S_2/S_1)=** **83.2**

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

7/12

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P024 y 025(28)-13	PROYECTO: IDU 038	
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja	Fecha de recepción:	2013-07-24
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto 60-70 (STOA).	Fecha de ensayo:	2013-08-02

2. DETERMINACION DEL GRADO DE SATURACION *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	4	9	10
Peso del espécimen seco al aire (g)	1192.7	1186.8	1191.4
Peso del espécimen después de someterlo a vacío (g)	1217.3	1214.1	1216.5
Volumen de agua absorbida (cm^3)	24.6	27.3	25.1
Volumen inicial del espécimen (cm^3)	529.3	532.6	533.4
Volumen de vacios (cm^3)	33.9	39.4	38.4
Saturación (%)	72.6	69.3	65.4
Grado promedio de saturación después de la saturación parcial (%)	**69.1**		
Peso del espécimen Saturado superficialmente seco (g) (después de la inmersión a 25°C)	1222.4	1221.4	1224.7
Volumen de agua absorbida (después de la inmersión a 25°C) (cm^3)	29.7	34.6	33.3
Saturación (después de la inmersión a 25°C) (%)	87.7	87.8	86.7
Grado promedio de saturación después del acondicionamiento de humedad (%)	**87.4**		

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

8/12

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P024 y 025(28)-13	PROYECTO: IDU 038	
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja	Fecha de recepción:	2013-07-24
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto 60-70 (STOA).	Fecha de ensayo:	2013-08-02

3. DETERMINACION DEL HINCHAMIENTO *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	4	9	10
Peso del espécimen en agua después de someterlo a vacío (g)	684.3	677.9	680.3
Volumen del espécimen después de la saturación parcial (cm^3)	533.0	536.2	536.2
Hinchamiento (%)	0.7	0.7	0.5
Hinchamiento promedio después de la saturación parcial (%)	**0.6**		
Peso del espécimen en agua (g) (después de la inmersión a 25°C)	687.4	682.7	684.4
Volumen del espécimen después del acondicionamiento de humedad (cm^3)	535.0	538.7	540.3
Hinchamiento (después de la inmersión a 25°C) (%)	1.1	1.1	1.3
Hinchamiento promedio después del acondicionamiento de humedad (%)	**1.2**		

OBSERVACIONES: _____

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

9/12

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN:	P024 y 025(28)-13	**PROYECTO:**	IDU 038
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.	Fecha recepción:	2013-07-24
Descripción:	Briquetas tipo Marshall.	Fecha de ensayo:	2013-07-26

Tipo de Mezcla: MD-12 asfalto 60-70 Barrancabermeja (STOA). Método Utilizado: A

Briqueta No		3	4	6	----	----
Temperatura del agua	°C	20	20	19.5	----	----
Temperatura ambiente	°C	21	21	21.3	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	1193.3	1192.7	1191.5	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	1196.3	1195.2	1194.9	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	665.0	665.9	662.2	----	----
Constante de corrección k		1.001364	1.001364	1.001364	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$		2.248 ± 0.018*	2.256 ± 0.018*	2.239 ± 0.018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$	kg/m^3	2241.6 ± 18.8*	2248.9 ± 18.8*	2232.3 ± 18.7*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	0.565 ± 0.250*	0.472 ± 0.209*	0.638 ± 0.282*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: MD-12 asfalto 60-70 Barrancabermeja (STOA). Método Utilizado: A

Briqueta No		8	9	10	----	----
Temperatura del agua	°C	19.5	19.5	20.2	----	----
Temperatura ambiente	°C	21.3	21.3	21.9	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	1183.7	1186.8	1191.4	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	1186.0	1189.4	1194.9	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	656.9	656.8	661.5	----	----
Constante de corrección k		1.001364	1.001364	1.001162	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$		2.240 ± 0.018*	2.231 ± 0.018*	2.236 ± 0.018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$	kg/m^3	2232.8 ± 18.7*	2223.9 ± 18.6*	2228.8 ± 18.7*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	0.435 ± 0.192*	0.488 ± 0.216*	0.656 ± 0.290*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

10/12

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-05

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm) Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-05 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 735-07

CÓDIGO ORDEN:	P024 Y P025(28)-13	**PROYECTO:**	IDU 038
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.	Fecha de recepción:	2013-07-24
Descripción:	Mezcla asfaltica MD-12 60-70 Barrancabermeja (STOA).	Fecha de ensayo:	2013-08-08

Tipo de recipiente: Taza de vacio Tipo de procedimiento:

Prueba No.		1	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	2389.0	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	8746.9	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	7349.0	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A + D - E))		2.410 ± 0.007 *	----- *	----- ± *	----- ± *	----- ± *

OBSERVACIONES:

Prueba No.		-----	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A - (E - D))		----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

11/12

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN: P024 y 025(28)-13

PROYECTO: IDU 038

Referencia: P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.

Fecha de ensayo: 2013-08-08

Descripción: Briquetas Tipo marshall

Fecha de recepción: 2013-07-24

Referencia	3	6	8
Gravedad específica bulk	2.248	2.239	2.240
Gravedad específica máxima teórica	2.410	2.410	2.410
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.7%	7.1%	7.1%

OBSERVACIONES:

Referencia	4	9	10
Gravedad específica bulk	2.256	2.231	2.236
Gravedad específica máxima teórica	2.410	2.410	2.410
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.4%	7.4%	7.2%

OBSERVACIONES:

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

12/12

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN: P025-13(27) PROYECTO: IDU - 039

Referencia: P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja

Descripción: Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto 60-70 (LTOA).

Fecha de recepción: 2013-07-19

Fecha de ensayo: 2013-08-08

1. RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA

1.1 CONDICIÓN DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO SECO*

Referencia	2	4	10
Altura del espécimen (mm)	68.9	67.8	69.0
Diametro del espécimen (mm)	100.0	100.0	100.2
Vacios (%)	6.7	6.4	7.2
Promedio Vacios (%)		6.8	
Lectura de carga (kg)	1291	1285	1292
Carga Máxima (N)	12664.7	12605.9	12674.5
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	1170.4	1183.2	1167.8

Promedio Resistencia a la Tensión S_1 (kPa) **1173.8**

1.2. CONDICION DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	1	3	7
Altura del espécimen (mm)	68.3	69.5	69.2
Diametro del espécimen (mm)	100.0	100.0	100.0
Vacios (%)	6.7	7.3	7.2
Promedio Vacios (%)		7.1	
Lectura de carga (kg)	1085	1068	1102
Carga Máxima (N)	10643.9	10477.1	10810.6
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	991.9	959.2	994.7

Promedio Resistencia a la Tensión S_2 (kPa) **981.9**

1.3 RELACIÓN DE RESISTENCIAS A LA TENSIÓN (TSR) **(S_2/S_1)=** **83.7**

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

1/6

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P025-13(27)	PROYECTO: IDU - 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja	Fecha de recepción:	2013-07-19
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto 60-70 (LTOA).	Fecha de ensayo:	2013-08-08

2. DETERMINACION DEL GRADO DE SATURACION *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	1	3	7
Peso del espécimen seco al aire (g)	1190.5	1191.1	1193.6
Peso del espécimen después de someterlo a vacío (g)	1216.5	1219.8	1221.1
Volumen de agua absorbida (cm^3)	26.0	28.7	27.5
Volumen inicial del espécimen (cm^3)	527.4	531.3	531.6
Volumen de vacios (cm^3)	35.3	38.8	38.3
Saturación (%)	73.6	74.0	71.8
Grado promedio de saturación después de la saturación parcial (%)	**73.1**		
Peso del espécimen Saturado superficialmente seco (g) (después de la inmersión a 25°C)	1220.7	1225	1226.6
Volumen de agua absorbida (después de la inmersión a 25°C) (cm^3)	30.2	33.9	33.0
Saturación (después de la inmersión a 25°C) (%)	85.5	87.4	86.2
Grado promedio de saturación después del acondicionamiento de humedad (%)	**86.4**		

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

2/6

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN: P025-13(27) | PROYECTO: IDU - 039

Referencia: P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Barrancabermeja

Descripción: Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto 60-70 (LTOA).

Fecha de recepción: 2013-07-19

Fecha de ensayo: 2013-08-08

3. DETERMINACION DEL HINCHAMIENTO *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	1	3	7
Peso del espécimen en agua después de someterlo a vacío (g)	685.8	684.4	686.0
Volumen del espécimen después de la saturación parcial (cm^3)	530.7	535.4	535.1
Hinchamiento (%)	0.6	0.8	0.7
Hinchamiento promedio después de la saturación parcial (%)	**0.7**		
Peso del espécimen en agua (g) (después de la inmersión a 25°C)	690.9	690.2	692.0
Volumen del espécimen después del acondicionamiento de humedad (cm^3)	529.8	534.8	534.6
Hinchamiento (después de la inmersión a 25°C) (%)	0.5	0.7	0.6
Hinchamiento promedio después del acondicionamiento de humedad (%)	**0.6**		

OBSERVACIONES:

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

3/6

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN:	P025(27)-13	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.	Fecha recepción:	2013-04-11
Descripción:	Briquetas tipo Marshall.	Fecha de ensayo:	2013-08-07

Tipo de Mezcla: MD-12 asfalto 60-70 Barrancabermeja (LTOA). Método Utilizado: A

Briqueta No			1	2	3	----	----
Temperatura del agua		°C	24	24	23.7	----	----
Temperatura ambiente		°C	23	23	23.3	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1190.5	1191.2	1191.1	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1194.6	1195.2	1196.6	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	667.2	667.1	665.3	----	----
Constante de corrección k			1.000495	1.000495	1.000495	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$			2.258 ± 0.018*	2.257 ± 0.018*	2.243 ± 0.018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$		kg/m^3	2251.6 ± 18.9*	2250.0 ± 18.8*	2236.2 ± 18.7*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.777 ± 0.344*	0.757 ± 0.335*	1.035 ± 0.457*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: MD-12 asfalto 60-70 Barrancabermeja (LTOA). Método Utilizado: A

Briqueta No			4	7	10	----	----
Temperatura del agua		°C	23.7	23.7	23.7	----	----
Temperatura ambiente		°C	23.3	23.3	23.3	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1191.7	1193.6	1192.1	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1195.3	1199.6	1196.1	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	668.4	668	664.9	----	----
Constante de corrección k			1.000495	1.000495	1.000495	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$			2.263 ± 0.018*	2.246 ± 0.018*	2.245 ± 0.018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$		kg/m^3	2256.1 ± 18.9*	2239.7 ± 18.8*	2238.5 ± 18.7*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.683 ± 0.302*	1.129 ± 0.499*	0.753 ± 0.333*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ:CORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

4/6

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN:	P025(27)-13	PROYECTO:	IDU 038 Y 039
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.	Fecha de ensayo:	2013-08-07
Descripción:	Briquetas Tipo marshall	Fecha de recepción:	2013-07-19

Referencia	1	2	3
Gravedad específica bulk	2.258	2.257	2.243
Gravedad específica máxima teórica	2.419	2.419	2.419
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.7%	6.7%	7.3%

OBSERVACIONES: _____

Referencia	4	7	10
Gravedad específica bulk	2.263	2.246	2.245
Gravedad específica máxima teórica	2.419	2.419	2.419
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.4%	7.2%	7.2%

OBSERVACIONES: _____

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

5/6

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-05

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm) Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-05

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 735-07

CÓDIGO ORDEN:	P025(27)-13	**PROYECTO:**	IDU 038
Referencia:	P024 Y P025 - 1_2_3_4_5_6_7.	Fecha de recepción:	2013-07-24
Descripción:	Mezcla asfaltica MD-12 60-70 Barrancabermeja (LTOA).	Fecha de ensayo:	2013-08-08

Tipo de recipiente: Taza de vacio

Tipo de procedimiento: Pesada en aire

Prueba No.		1	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	2377.9	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	8743.8	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	7348.8	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A + D - E))		2.419 ± 0.007 *	----- *	----- ± *	----- ± *	----- ± *

OBSERVACIONES: _____

Prueba No.		-----	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A - (E - D))		----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

6/6

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF3-08

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5255

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA PISTA DE ENSAYO DE LABORATORIO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INVE 756-07

CODIGO ORDEN: P024 Y P025-13(13) **PROYECTO:** IDU 038 Y 039

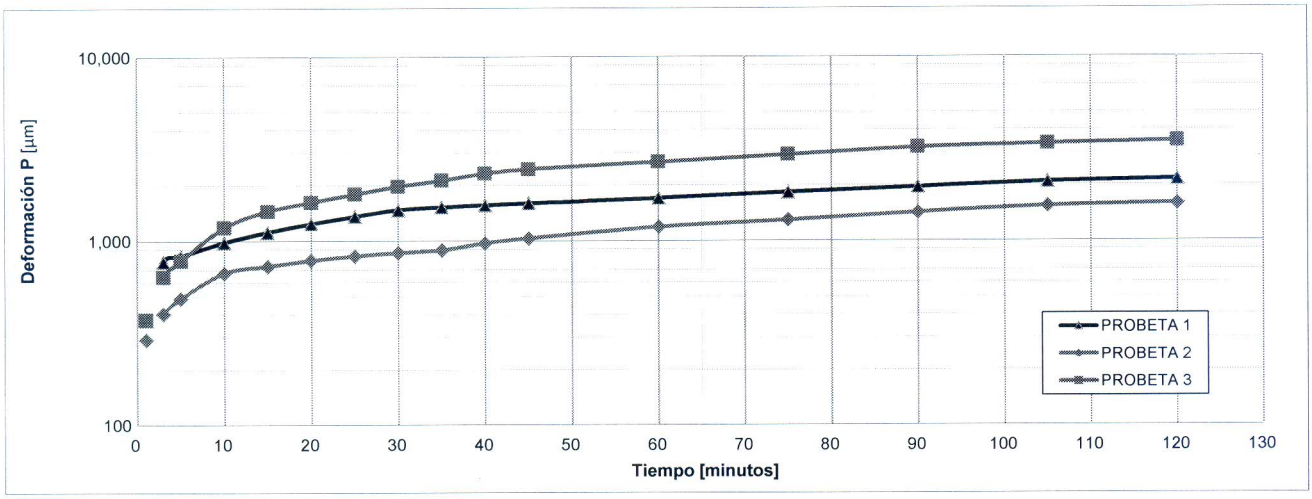
Referencia: P024-P025-1
Muestra: Mezcla asfáltica MD-12 Asfálto Barrancabermeja 60-70 (STOA)
Descripción: Panela de asfalto.

Fecha Recepción: 4/11/2013
Fecha de Ensayo: 8/7/2013

I. DATOS DE ENSAYO

Temperatura de ensayo:	(°C)	60
Presión de contacto	(kN/m^2)	900

II. RESULTADOS - GRAFICA DEFORMACIÓN VS TIEMPO



II. RESULTADOS

		Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Deformación total al final del ensayo	(µm)	2156.7	1593.3	3476.7
Velocidad en el intervalo 30 a 45 minutos, V30/45	(µm)/ min	8	11	33
Velocidad en el intervalo de 75 a 90 minutos, V75/90	(µm)/ min	8	9	17
Velocidad en el intervalo de 105 a 120 minutos, V105/120	(µm)/ min	5	4	8

OBSERVACIONES

JEISSON DUBIER HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF3-08

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5255

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA PISTA DE ENSAYO DE LABORATORIO

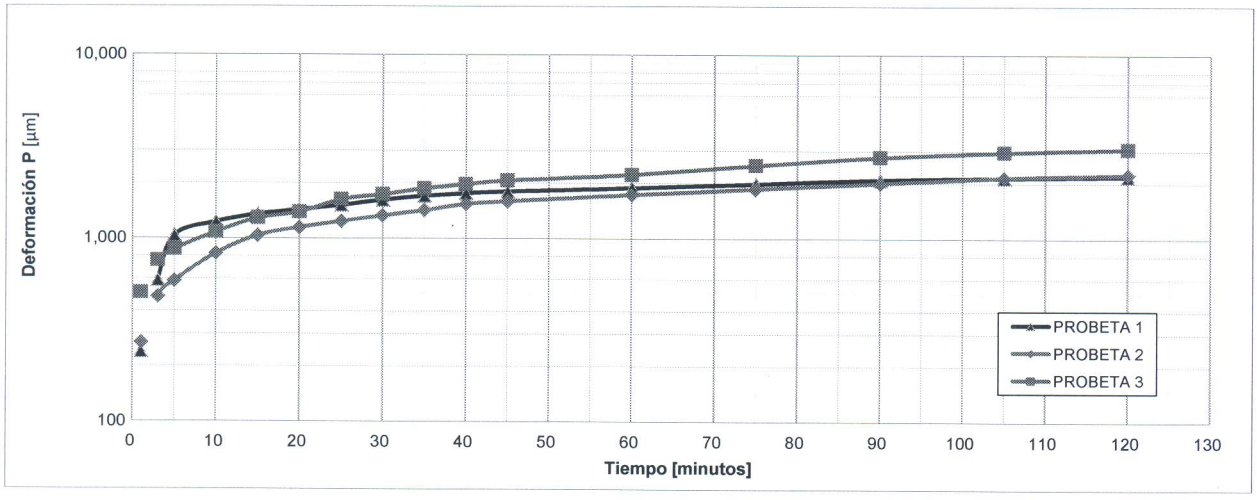
PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INVE 756-07

CODIGO ORDEN:	**P024-13(27)**	**PROYECTO:**	**IDU 038**
Referencia:	P024-P025-1	**Fecha Recepción:**	2013-07-19
Muestra:	Mezcla asfáltica MD-12 Asfálto Barrancabermeja 60-70 (LTOA)	**Fecha de Ensayo:**	2013-08-23
Descripción:	Panela de asfálto.		

I. DATOS DE ENSAYO

Temperatura de ensayo:	(°C)	60
Presión de contacto	(kN/m^2)	900

II. RESULTADOS - GRAFICA DEFORMACIÓN VS TIEMPO



II. RESULTADOS

		Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Deformación total al final del ensayo	(µm)	2190.0	2236.7	3073.3
Velocidad en el intervalo 30 a 45 minutos, V30/45	(µm)/ min	12	18	22
Velocidad en el intervalo de 75 a 90 minutos, V75/90	(µm)/ min	7	9	18
Velocidad en el intervalo de 105 a 120 minutos, V105/120	(µm)/ min	3	5	8

OBSERVACIONES

JEISSON DUBIER HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF2-03

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO EN MEZCLAS EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-03

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E732-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13(35)	**PROYECTO:** IDU-039	
Referencia:	P024 y P025-1_2_3_4_5_6_7.	Fecha Recepción:	2013-08-20
Descripción:	Briqueta tipo Marshall MD-12, con cemento asfáltico 60 - 70 Barrancabermeja LTOA.	Fecha de Ensayo:	2013-09-26

Referencia	P024 y P025-1	--	--
Localización	--	--	--
Apique	--	--	--
Muestra	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),ligante asfaltico Barrancabermeja 60 -70.	--	--
Masa porción ensayo, W1 (g)	1640	--	--
Masa del agregado mineral extraido, W3 (g)	1548.8	--	--
Peso material mineral en el volumen total del extracto, W4 (g)	2.812	--	--
Peso inicial filtro, Pf_i (g)	14.61	--	--
Peso final filtro, Pf_f (g)	16.708	--	--
Contenido de asfalto (%)	***5.39*** ± ***0.06***	--- ± --- *	--- ± --- *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

ANEXO H. Caracterización dinámica de la mezcla asfáltica MD12 con asfalto Barrancabermeja 60-70 modificado con el producto I

En este anexo se encuentran los resultados de los ensayos de caracterización dinámica de la mezcla asfáltica MD12 con asfalto Barrancabermeja 60-70 modificado con el producto I, listados a continuación:

- Ensayos de estabilidad, flujo y vacíos de aire para análisis de temperaturas de mezclado y compactación.
- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de la mezcla asfáltica sometida a un envejecimiento a corto plazo (STOA).
- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de la mezcla asfáltica sometida a un envejecimiento a corto y largo plazo (STOA + LTOA).
- Ensayo de resistencia a la fatiga a esfuerzo controlado a la mezcla asfáltica sometida a un envejecimiento a corto plazo (STOA).
- Ensayo de resistencia a la fatiga a esfuerzo controlado a la mezcla asfáltica sometida a un envejecimiento a corto y largo plazo (STOA + LTOA).
- Ensayo de resistencia de una mezcla bituminosa compactada al daño causado por humedad sometida a un envejecimiento a corto plazo (STOA).
- Ensayo de resistencia de una mezcla bituminosa compactada al daño causado por humedad sometida a un envejecimiento a corto y largo plazo (STOA + LTOA).
- Ensayo de resistencia a la deformación plástica de la mezcla asfáltica mediante la pista de ensayo de laboratorio sometida a un envejecimiento a corto plazo (STOA).
- Ensayo de resistencia a la deformación plástica de la mezcla asfáltica mediante la pista de ensayo de laboratorio sometida a un envejecimiento a corto y largo plazo (STOA + LTOA).

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-05

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm) Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-05 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 735-07

CÓDIGO ORDEN:	P024-13 (22)	**PROYECTO:**	IDU 038 Y 039
Referencia:	024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7.	Fecha de recepción:	2013-06-16
Descripción:	Briquetas tipo Marshall.MD-12 - con ligante asfáltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".	Fecha de ensayo:	2013-06-27

Tipo de recipiente: Taza de vacio Tipo de procedimiento: Pesada en aire.

Prueba No.		1	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	2377.9	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	8740.7	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	7348.2	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A + D - E))		2.413 ± 0.007 *	----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *

OBSERVACIONES:

Prueba No.		-----	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A - (E - D))		----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

1/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF2-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (22)	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.	Fecha de ensayo:	2013-06-28
Descripción:	Briquetas Tipo marshall MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase". Temperatura de mezcla 90°c.	Fecha de recepción:	2013-04-11

Referencia	1	2	3
Gravedad específica bulk	2.184	2.188	2.171
Gravedad específica máxima teórica	2.413	2.413	2.413
Porcentaje de Vacios de aire (%)	9.5%	9.3%	10.0%

OBSERVACIONES:

Referencia	4	---	---
Gravedad específica bulk	2.203	---	---
Gravedad específica máxima teórica	2.413	---	---
Porcentaje de Vacios de aire (%)	8.7%	---	---

OBSERVACIONES:

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

2/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (22)	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.	Fecha de ensayo:	2013-06-28
Descripción:	Briquetas Tipo marshall MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase". Temperatura de mezcla 140°c.	Fecha de recepción:	2013-04-11

Referencia	1	2	3
Gravedad específica bulk	2.278	2.273	2.303
Gravedad específica máxima teórica	2.413	2.413	2.413
Porcentaje de Vacios de aire (%)	5.6%	5.8%	4.6%

OBSERVACIONES:

Referencia	4	---	---
Gravedad específica bulk	2.332	---	---
Gravedad específica máxima teórica	2.413	---	---
Porcentaje de Vacios de aire (%)	3.4%	---	---

OBSERVACIONES:

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

3/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF2-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN: P025-13 (22)	PROYECTO: IDU 039
Referencia: P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.	Fecha de ensayo: 2013-06-28
Descripción: Briquetas Tipo marshall MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase". Temperatura de mezcla 130°c.	Fecha de recepción: 2013-04-11

Referencia	1	2	3
Gravedad específica bulk	2.285	2.335	2.263
Gravedad específica máxima teórica	2.413	2.413	2.413
Porcentaje de Vacios de aire (%)	5.3%	3.2%	6.2%

OBSERVACIONES:

Referencia	4	---	---
Gravedad específica bulk	2.288	---	---
Gravedad específica máxima teórica	2.413	---	---
Porcentaje de Vacios de aire (%)	5.2%	---	---

OBSERVACIONES:

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

4/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF2-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (22)	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.	Fecha de ensayo:	2013-06-28
Descripción:	Briquetas Tipo marshall MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase". Temperatura de mezcla 120°c.	Fecha de recepción:	2013-04-11

Referencia	1	2	3
Gravedad específica bulk	2.257	2.301	2.298
Gravedad específica máxima teórica	2.413	2.413	2.413
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.5%	4.6%	4.8%

OBSERVACIONES:

Referencia	4	---	---
Gravedad específica bulk	2.276	---	---
Gravedad específica máxima teórica	2.413	---	---
Porcentaje de Vacios de aire (%)	5.7%	---	---

OBSERVACIONES:

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

5/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF2-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (22)	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.	Fecha de ensayo:	2013-06-18
Descripción:	Briquetas Tipo marshall MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase". Temperatura de mezcla 110°c.	Fecha de recepción:	2013-04-11

Referencia	1	2	3
Gravedad específica bulk	2.220	2.281	2.200
Gravedad específica máxima teórica	2.413	2.413	2.413
Porcentaje de Vacios de aire (%)	8.0%	5.5%	8.8%

OBSERVACIONES:

Referencia	4	---	---
Gravedad específica bulk	2.264	---	---
Gravedad específica máxima teórica	2.413	---	---
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.2%	---	---

OBSERVACIONES:

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

6/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF2-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (22)	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.	Fecha de ensayo:	2013-06-28
Descripción:	Briquetas Tipo marshall MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase". Temperatura de mezcla 100°c.	Fecha de recepción:	2013-04-11

Referencia	1	2	3
Gravedad específica bulk	2.249	2.219	2.215
Gravedad específica máxima teórica	2.413	2.413	2.413
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.8%	8.0%	8.2%

OBSERVACIONES:

Referencia	4	---	---
Gravedad específica bulk	2.227	---	---
Gravedad específica máxima teórica	2.413	---	---
Porcentaje de Vacios de aire (%)	7.7%	---	---

OBSERVACIONES:

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

7/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF2-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (22)	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.	Fecha de ensayo:	2013-06-28
Descripción:	Briquetas Tipo marshall MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase". Temperatura de mezcla 150°c.	Fecha de recepción:	2013-04-11

Referencia	1	2	3
Gravedad específica bulk	2.323	2.328	2.316
Gravedad específica máxima teórica	2.413	2.413	2.413
Porcentaje de Vacios de aire (%)	3.7%	3.5%	4.0%

OBSERVACIONES:

Referencia	4	---	---
Gravedad específica bulk	2.319	---	---
Gravedad específica máxima teórica	2.413	---	---
Porcentaje de Vacios de aire (%)	3.9%	---	---

ertg

OBSERVACIONES:

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

8/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-01

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 - 5373 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01 — INFORME DE ENSAYO — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-07

CODIGO ORDEN: P025(22)-13 **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: 024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7. Fecha Recepción: 2013-06-16

Descripción: Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 140°c. Fecha de Ensayo: 2013-06-27

Probeta No		1	2	3
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 140°c.	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 140°c.	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 140°c.
Temperatura Ambiente °C		22.4	22.4	22.4
Estabilidad medida (kg)		1830	1843	1922
Altura de la briqueta (mm)		65.3	65.1	64.2
Factor de correlación		0.958	0.985	0.943
Estabilidad corregida	(lbf)	3865	4002	3996
	(kgf)	1753	1815	1812
	(N)	17198	17809	17780
Flujo	(0.01")	13	13	14
	(mm)	3.30	3.30	3.56

Estabilidad Promedio (lbf) 3954 ± *1285 — Flujo Promedio (0.01") 13.3 ± 1.4*

(kgf) 1794 ± *583 — (mm) 3.39 ± 0.36*

(N) 17596 ± *5718

OBSERVACIONES: _____

Probeta No		4	---	---
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 140°c.	---	---
Temperatura Ambiente °C		22.4	---	---
Estabilidad medida (kg)		1838	---	---
Altura de la briqueta (mm)		64.8		
Factor de correlación		0.965	---	---
Estabilidad corregida	(lbf)	3910		
	(kgf)	1774		
	(N)	17400		
Flujo	(0.01")	14		
	(mm)	3.56		

Estabilidad Promedio (lbf) 3910 ± *1271 — Flujo Promedio (0.01") 14.0 ± 1.5*

(kg) 1774 ± *576 — (mm) 3.56 ± 0.38*

(N) 17400 ± *5655

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansión k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

9/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-01

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 - 5373 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01 | INFORME DE ENSAYO | PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-07

CODIGO ORDEN: P025(22)-13 **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: 024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7. Fecha Recepción: 2013-06-16

Descripción: Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 130°c. Fecha de Ensayo: 2013-06-27

Probeta No		1	2	3
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 130°c.	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 130°c.	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 130°c.
Temperatura Ambiente ºC		22.4	22.4	22.4
Estabilidad medida (kg)		1844	1896	1886
Altura de la briqueta (mm)		65.2	64.1	66.0
Factor de correlación		0.958	0.985	0.943
Estabilidad corregida	(lbf)	3895	4117	3921
	(kgf)	1767	1868	1778
	(N)	17330	18321	17447
Flujo	(0.01")	14	13	15
	(mm)	3.56	3.30	3.81

Estabilidad Promedio (lbf) 3978 ± *1293 (kgf) 1804 ± *586 (N) 17699 ± *5752

Flujo Promedio (0.01") 14.0 ± 1.5* (mm) 3.56 ± 0.38*

OBSERVACIONES:

Probeta No		4	---	---
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 130°c.	---	---
Temperatura Ambiente ºC		22.4	---	---
Estabilidad medida (kg)		1903	---	---
Altura de la briqueta (mm)		64.9		
Factor de correlación		0.965	---	---
Estabilidad corregida	(lbf)	4049		
	(kgf)	1836		
	(N)	18015		
Flujo	(0.01")	13		
	(mm)	3.30		

Estabilidad Promedio (lbf) 4049 ± *1316 (kg) 1836 ± *597 (N) 18015 ± *5855

Flujo Promedio (0.01") 13.0 ± 1.4* (mm) 3.30 ± 0.35*

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansión k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

10/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-01

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 - 5373 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01 | INFORME DE ENSAYO | PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-07

CODIGO ORDEN: P025(22)-13 | **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: 024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7. | Fecha Recepción: 2013-06-16

Descripción: Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 120°c | Fecha de Ensayo: 2013-06-27

Probeta No		1	2	3
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 120°c	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 120°c	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 120°c
Temperatura Ambiente ºC		22.4	22.4	22.4
Estabilidad medida (kg)		1704	1834	1642
Altura de la briqueta (mm)		65.5	64.7	64.4
Factor de correlación		0.953	0.970	0.978
Estabilidad corregida	(lbf)	3580	3922	3540
	(kgf)	1624	1779	1606
	(N)	15931	17452	15754
Flujo	(0.01")	16	15	14
	(mm)	4.06	3.81	3.56

Estabilidad Promedio (lbf) 3681 ± *1196 | Flujo Promedio (0.01") 15.0 ± 1.6*

(kgf) 1670 ± * 543 | (mm) 3.81 ± 0.41*

(N) 16379 ± *5323

OBSERVACIONES: _____

Probeta No		4	---	---
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 120°c	---	---
Temperatura Ambiente ºC		22.4	---	---
Estabilidad medida (kg)		1778	---	---
Altura de la briqueta (mm)		64.9		
Factor de correlación		0.965	---	---
Estabilidad corregida	(lbf)	3783		
	(kgf)	1716		
	(N)	16832		
Flujo	(0.01")	15		
	(mm)	3.81		

Estabilidad Promedio (lbf) 3783 ± *1229 | Flujo Promedio (0.01") 15.0 ± 1.6*

(kg) 1716 ± * 558 | (mm) 3.81 ± 0.41*

(N) 16832 ± * 5470

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansión k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-01

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 - 5373 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01 — INFORME DE ENSAYO — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-07

CODIGO ORDEN: P025(22)-13 **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: 024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7. Fecha Recepción: 2013-06-16

Descripción: Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 110°c Fecha de Ensayo: 2013-06-27

Probeta No		1	2	3
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 110°c	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 110°c	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 110°c
Temperatura Ambiente °C		22.4	22.4	22.4
Estabilidad medida (kg)		1395	1454	1381
Altura de la briqueta (mm)		66.9	65.1	68.3
Factor de correlación		0.925	0.960	0.890
Estabilidad corregida	(lbf)	2845	3077	2710
	(kgf)	1290	1396	1229
	(N)	12659	13693	12057
Flujo	(0.01")	14	14	16
	(mm)	3.56	3.56	4.06

Estabilidad Promedio (lbf) 2877 ± * 935 (kgf) 1305 ± * 424 (N) 12803 ± *4161

Flujo Promedio (0.01") 14.7 ± 1.6* (mm) 3.73 ± 0.40*

OBSERVACIONES: _____

Probeta No		4	---	---
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 110°c	---	---
Temperatura Ambiente °C		22.4	---	---
Estabilidad medida (kg)		1325	---	---
Altura de la briqueta (mm)		65.6		
Factor de correlación		0.951	---	---
Estabilidad corregida	(lbf)	2778		
	(kgf)	1260		
	(N)	12361		
Flujo	(0.01")	13		
	(mm)	3.30		

Estabilidad Promedio (lbf) 2778 ± * 903 (kg) 1260 ± * 410 (N) 12361 ± * 4017

Flujo Promedio (0.01") 13.0 ± 1.4* (mm) 3.30 ± 0.35*

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansión k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

12/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-01

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 - 5373 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01 — INFORME DE ENSAYO — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-07

CODIGO ORDEN: P025(22)-13 **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: 024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7. Fecha Recepción: 2013-06-16

Descripción: Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 100°c Fecha de Ensayo: 2013-06-27

Probeta No		1	2	3
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 100°c	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 100°c	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 100°c
Temperatura Ambiente °C		22.4	22.4	22.4
Estabilidad medida (kg)		1200	1067	1119
Altura de la briqueta (mm)		65.7	67.6	67.4
Factor de correlación		0.949	0.908	0.913
Estabilidad corregida	(lbf)	2511	2136	2252
	(kgf)	1139	969	1022
	(N)	11172	9504	10022
Flujo	(0.01")	15	14	15
	(mm)	3.81	3.56	3.81

Estabilidad Promedio (lbf) 2300 ± * 747 (kgf) 1043 ± * 339 (N) 10233 ± *3326

Flujo Promedio (0.01") 14.7 ± 1.6* (mm) 3.73 ± 0.40*

OBSERVACIONES: _____

Probeta No		4	---	---
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 100°c	---	---
Temperatura Ambiente °C		22.4	---	---
Estabilidad medida (kg)		1234	---	---
Altura de la briqueta (mm)		67.4		
Factor de correlación		0.913	---	---
Estabilidad corregida	(lbf)	2484		
	(kgf)	1127		
	(N)	11052		
Flujo	(0.01")	13		
	(mm)	3.30		

Estabilidad Promedio (lbf) 2484 ± * 807 (kg) 1127 ± * 366 (N) 11052 ± * 3592

Flujo Promedio (0.01") 13.0 ± 1.4* (mm) 3.30 ± 0.35*

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

13/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-01

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 - 5373 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01 — INFORME DE ENSAYO — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-07

CODIGO ORDEN: P025(22)-13 **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: 024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7. Fecha Recepción: 2013-06-16

Descripción: Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 90°c Fecha de Ensayo: 2013-06-27

Probeta No		1	2	3
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 90°c	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 90°c	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 90°c
Temperatura Ambiente °C		22.4	22.4	22.4
Estabilidad medida (kg)		854	914	736
Altura de la briqueta (mm)		68.2	68.2	69.2
Factor de correlación		0.893	0.893	0.873
Estabilidad corregida	(lbf)	1681	1799	1417
	(kgf)	763	816	643
	(N)	7481	8007	6303
Flujo	(0.01")	13	12	16
	(mm)	3.30	3.05	4.06

Estabilidad Promedio (lbf) 1632 ± * 531 — Flujo Promedio (0.01") 13.7 ± 1.5*

(kgf) 740 ± * 241 — (mm) 3.47 ± 0.37*

(N) 7264 ± *2361

OBSERVACIONES: _____

Probeta No		4	---	---
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 90°c	---	---
Temperatura Ambiente °C		22.4	---	---
Estabilidad medida (kg)		852	---	---
Altura de la briqueta (mm)		67.1		
Factor de correlación		0.920	---	---
Estabilidad corregida	(lbf)	1728		
	(kgf)	784		
	(N)	7689		
Flujo	(0.01")	13		
	(mm)	3.30		

Estabilidad Promedio (lbf) 1728 ± * 562 — Flujo Promedio (0.01") 13.0 ± 1.4*

(kg) 784 ± * 255 — (mm) 3.30 ± 0.35*

(N) 7689 ± * 2499

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP / D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

14/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-01

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 - 5373 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-01 — INFORME DE ENSAYO — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 748-07

CODIGO ORDEN: P025(22)-13	**PROYECTO:** IDU 039
Referencia: 024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7.	Fecha Recepción: 2013-06-16
Descripción: Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 150°c.	Fecha de Ensayo: 2013-06-27

Probeta No		1	2	3
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 150°c.	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 150°c.	Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 150°c.
Temperatura Ambiente °C		22.4	22.4	22.4
Estabilidad medida (kg)		1827	1895	1851
Altura de la briqueta (mm)		63.9	63.2	63.9
Factor de correlación		0.990	1.008	0.990
Estabilidad corregida	(lbf)	3988	4211	4040
	(kgf)	1809	1910	1832
	(N)	17744	18739	17977
Flujo	(0.01")	15	15	16
	(mm)	3.81	3.81	4.06

Estabilidad Promedio
(lbf) 4080 ± *1326
(kgf) 1850 ± *601
(N) 18153 ± *5900

Flujo Promedio
(0.01") 15.3 ± 1.6*
(mm) 3.89 ± 0.42*

OBSERVACIONES: _____

Probeta No		4	---	---
Muestra		Grava 1" y 1/2" (Rio Coello), Arena triturada y natural (Rio Coello), Arena de peña (ingescol Soacha), Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y Ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con "Cecabase".		
Localización		---		
Descripción		Briquetas tipo Marshall. MD-12 con ligante asfáltico Modificado. Temperatura de mezcla 150°c.	---	---
Temperatura Ambiente °C		22.4	---	---
Estabilidad medida (kg)		1845	---	---
Altura de la briqueta (mm)		64.1		
Factor de correlación		0.985	---	---
Estabilidad corregida	(lbf)	4006		
	(kgf)	1817		
	(N)	17828		
Flujo	(0.01")	14		
	(mm)	3.56		

Estabilidad Promedio
(lbf) 4006 ± *1302
(kg) 1817 ± *591
(N) 17828 ± *5794

Flujo Promedio
(0.01") 14.0 ± 1.5*
(mm) 3.56 ± 0.38*

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

15/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (22)	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7.	Fecha recepción:	2013-06-16
Descripción:	Mezcla asfaltica MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase".	Fecha de ensayo:	2013-06-27

Tipo de Mezcla: MD-12 - Asfalto con "Cecabase". Temperatura de la mezcla 140°C. Método Utilizado: A

Briqueta No		1	2	3	4	----
Temperatura del agua	°C	22	22.3	22.3	22.3	----
Temperatura ambiente	°C	21	21.4	21.4	21.4	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	1186.2	1181.3	1181.4	1179.6	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	1196.8	1188.6	1186.8	1185.9	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	675.8	668.6	673.5	679.7	----
Constante de corrección k		1.000728	1.000728	1.000728	1.000728	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$		2.278 ± 0.018 *	2.273 ± 0.018 *	2.303 ± 0.019 *	2.332 ± 0.019 *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$	kg/m^3	2271.6 ± 19.0 *	2266.6 ± 19.0 *	2296.3 ± 19.2 *	2325.0 ± 19.5 *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	2.035 ± 0.450 *	1.404 ± 0.310 *	1.052 ± 0.232 *	1.245 ± 0.275 *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No		----	----	----	----	----
Temperatura del agua	°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente	°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A) g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B) g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C) g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k		----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$		---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$	kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen	%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LA LABORATORIO

P/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

16/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (22)	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7.	Fecha recepción:	2013-06-16
Descripción:	Mezcla asfaltica MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase".	Fecha de ensayo:	2013-06-27

Tipo de Mezcla: MD-12 - Asfalto con "Cecabase". Temperatura de la mezcla 130°C. Método Utilizado: A

Briqueta No			1	2	3	4	----
Temperatura del agua		°C	22	22.3	22.3	22.3	----
Temperatura ambiente		°C	21	21.4	21.4	21.4	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1187.5	1183.2	1188.4	1186.3	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1193.2	1185.5	1195.7	1191.7	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	673.1	678.4	670.1	672.9	----
Constante de corrección k			1.000728	1.000728	1.000728	1.000728	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2.285 ± 0.019 *	2.335 ± 0.019 *	2.263 ± 0.018 *	2.288 ± 0.019 *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2278.0 ± 19.1 *	2328.0 ± 19.5 *	2255.9 ± 18.9 *	2281.4 ± 19.1 *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	1.096 ± 0.242 *	0.454 ± 0.100 *	1.389 ± 0.307 *	1.041 ± 0.230 *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No			----	----	----	----	----
Temperatura del agua		°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente		°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k			----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LA LABORATORIO

P/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

17/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (22)	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7.	Fecha recepción:	2013-06-16
Descripción:	Mezcla asfaltica MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase".	Fecha de ensayo:	2013-06-27

Tipo de Mezcla: MD-12 - Asfalto con "Cecabase". Temperatura de la mezcla 120°C. Método Utilizado: A

Briqueta No			1	2	3	4	----
Temperatura del agua		°C	22	22.3	22.3	22.3	----
Temperatura ambiente		°C	21	21.4	21.4	21.4	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1184.2	1186	1185.9	1182	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1192.2	1190.1	1191.6	1189.2	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	667.2	674.3	675.1	669.6	----
Constante de corrección k			1.000728	1.000728	1.000728	1.000728	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2.257 ± 0.018 *	2.301 ± 0.019 *	2.298 ± 0.019 *	2.276 ± 0.018 *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2250.5 ± 18.8 *	2294.1 ± 19.2 *	2290.8 ± 19.2 *	2269.7 ± 19.0 *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	1.524 ± 0.337 *	0.795 ± 0.176 *	1.104 ± 0.244 *	1.386 ± 0.306 *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No			----	----	----	----	----
Temperatura del agua		°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente		°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k			----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LA LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

18/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (22)	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7.	Fecha recepción:	2013-06-16
Descripción:	Mezcla asfaltica MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase".	Fecha de ensayo:	2013-06-27

Tipo de Mezcla: MD-12 - Asfalto con "Cecabase". Temperatura de la mezcla 110°C. Método Utilizado: A

Briqueta No			1	2	3	4	----
Temperatura del agua		°C	22	22.3	22.3	22.3	----
Temperatura ambiente		°C	21	21.4	21.4	21.4	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1183.3	1184.7	1183.5	1183	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1193.3	1193.2	1204.5	1194.3	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	660.0	673.4	666.2	671.5	----
Constante de corrección k			1.000728	1.000728	1.000728	1.000728	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2.220 ± 0.018 *	2.281 ± 0.018 *	2.200 ± 0.018 *	2.264 ± 0.018 *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2213.8 ± 18.5 *	2274.0 ± 19.0 *	2193.6 ± 18.4 *	2257.7 ± 18.9 *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	1.875 ± 0.414 *	1.635 ± 0.361 *	3.901 ± 0.862 *	2.161 ± 0.478 *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No			----	----	----	----	----
Temperatura del agua		°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente		°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k			----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LA LABORATORIO

P P/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

19/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (22)	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7.	Fecha recepción:	2013-06-16
Descripción:	Mezcla asfaltica MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase".	Fecha de ensayo:	2013-06-27

Tipo de Mezcla: MD-12 - Asfalto con "Cecabase". Temperatura de la mezcla 100°C. Método Utilizado: A

Briqueta No			1	2	3	4	----
Temperatura del agua		°C	22	22.3	22.3	22.3	----
Temperatura ambiente		°C	21	21.4	21.4	21.4	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1180.9	1183	1181.8	1184.6	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1187.2	1198	1201	1194.4	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	661.8	664.5	667.1	662.1	----
Constante de corrección k			1.000728	1.000728	1.000728	1.000728	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2.249 ± 0.018 *	2.219 ± 0.018 *	2.215 ± 0.018 *	2.227 ± 0.018 *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2242.5 ± 18.8 *	2212.4 ± 18.5 *	2208.5 ± 18.5 *	2220.4 ± 18.6 *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	1.199 ± 0.265 *	2.812 ± 0.621 *	3.596 ± 0.795 *	1.841 ± 0.407 *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No			----	----	----	----	----
Temperatura del agua		°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente		°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k			----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LA LABORATORIO

PP/ D R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

20/22

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (22)	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7.	Fecha recepción:	2013-06-16
Descripción:	Mezcla asfaltica MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase".	Fecha de ensayo:	2013-06-27

Tipo de Mezcla: MD-12 - Asfalto con "Cecabase". Temperatura de la mezcla 90°C. Método Utilizado: A

Briqueta No			1	2	3	4	----
Temperatura del agua		°C	22	22.3	22.3	22.3	----
Temperatura ambiente		°C	21	21.4	21.4	21.4	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1177.8	1180.3	1179.5	1181.9	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1199.5	1207.4	1210.2	1202.8	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	659.9	667.5	666.4	665.8	----
Constante de corrección k			1.000728	1.000728	1.000728	1.000728	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2.184 ± 0.018 *	2.188 ± 0.018 *	2.171 ± 0.018 *	2.203 ± 0.018 *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2177.8 ± 18.2 *	2181.2 ± 18.3 *	2164.1 ± 18.1 *	2195.9 ± 18.4 *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	4.021 ± 0.889 *	5.019 ± 1.109 *	5.645 ± 1.247 *	3.892 ± 0.860 *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No			----	----	----	----	----
Temperatura del agua		°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente		°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k			----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LA LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

21/22

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (22)	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7.	Fecha recepción:	2013-06-16
Descripción:	Mezcla asfaltica MD - 12 con ligante asfáltico Modificado para mezclas tibias con "Cecabase".	Fecha de ensayo:	2013-06-27

Tipo de Mezcla: MD-12 - Asfalto con "Cecabase". Temperatura de la mezcla 150°C. Método Utilizado: A

Briqueta No			1	2	3	4	----
Temperatura del agua		°C	22	22.3	22.3	22.3	----
Temperatura ambiente		°C	21	21.4	21.4	21.4	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1181.9	1183.9	1187.7	1186.4	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1186.4	1187.2	1190.8	1191.1	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	677.2	678.2	677.7	679.1	----
Constante de corrección k			1.000728	1.000728	1.000728	1.000728	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2.323 ± 0.019 *	2.328 ± 0.019 *	2.316 ± 0.019 *	2.319 ± 0.019 *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2315.8 ± 19.4 *	2320.6 ± 19.4 *	2309.5 ± 19.3 *	2311.9 ± 19.4 *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.884 ± 0.195 *	0.648 ± 0.143 *	0.604 ± 0.133 *	0.918 ± 0.203 *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No			----	----	----	----	----
Temperatura del agua		°C	----	----	----	----	----
Temperatura ambiente		°C	----	----	----	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	----	----	----	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	----	----	----	----	----
Constante de corrección k			----	----	----	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LA LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

22/22

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF3-03

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO ELÁSTICO - CURVA MAESTRA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-03 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 749-07

CODIGO ORDEN: P025-13(33) **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: P024 y P025-13_2_3_4_5_6_7. **Fecha Recepción:** 2013-08-19

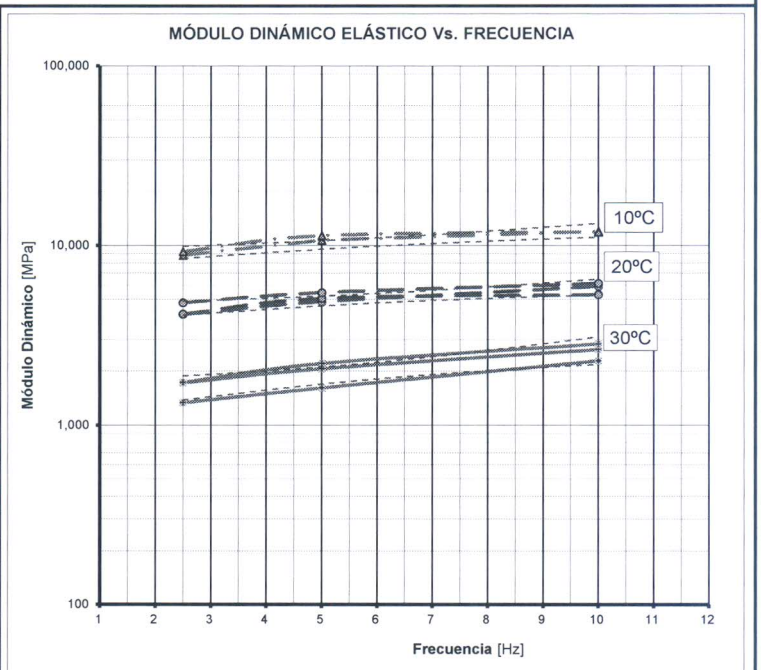
Descripción: Briquetas tipo Marshall MD-12, con cemento asfaltico modificado Cariphalt Lt tipo I (STOA). **Fecha de Ensayo:** 2013-08-23

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y asfalto modificado Cariphalt Lt tipo I.

Ts = 10 °C

T [°C]	Referencia	f [Hz]	X	Módulo Dinámico [MPa]
10	P024 y P025-13_1-1.	2.50	0.92	8264.00
		5.00	1.61	10192.00
		10.00	2.30	11767.50
	P024 y P025-13_1-2.	2.50	0.92	8829.50
		5.00	1.61	10703.00
		10.00	2.30	12010.50
	P024 y P025-13_1-3	2.50	0.92	9249.50
		5.00	1.61	11340.00
		10.00	2.30	11898.50
20	P024 y P025-13_2-1.	2.50	-2.12	4138.00
		5.00	-1.43	4861.00
		10.00	-0.73	5919.00
	P024 y P025-13_2-2.	2.50	-2.12	4157.50
		5.00	-1.43	5070.50
		10.00	-0.73	5320.50
	P024 y P025-13_2-3	2.50	-2.12	4798.00
		5.00	-1.43	5467.00
		10.00	-0.73	6142.50
30	P024 y P025-13_3-1.	2.50	-4.96	1336.50
		5.00	-4.26	1616.00
		10.00	-3.57	2288.00
	P024 y P025-13_3-2.	2.50	-4.96	1726.00
		5.00	-4.26	2066.50
		10.00	-3.57	2645.00
	P024 y P025-13_3-3	2.50	-4.96	1733.00
		5.00	-4.26	2212.00
		10.00	-3.57	2843.00

ISOTERMAS

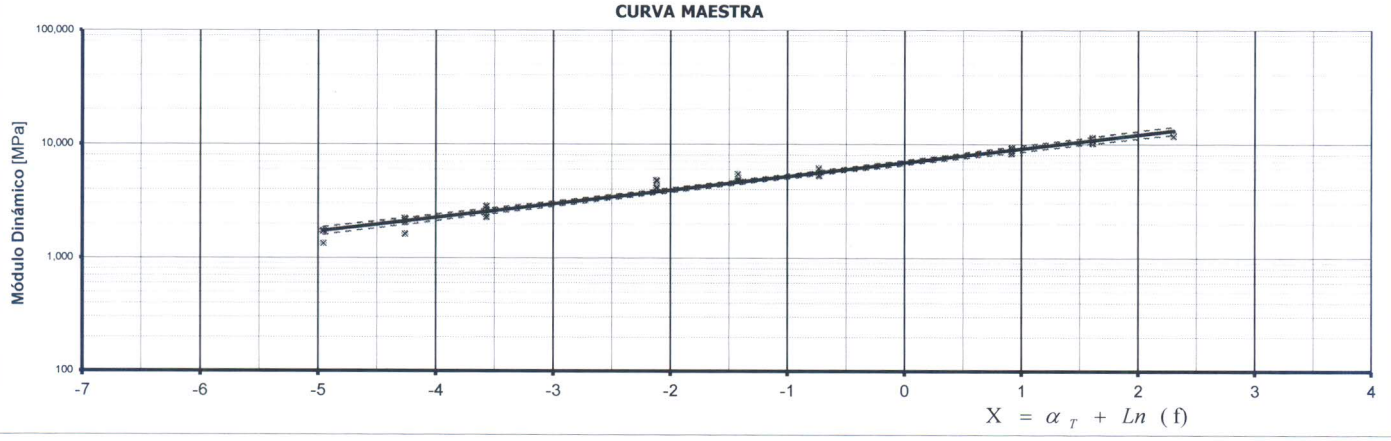


$$X = \alpha_T + Ln(f)$$

$$\alpha_T = 2{,}52 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s}\right)$$

X = Parámetro de reducción de la Curva Maestra.
α_T factor de modificación en función de la temperatura.
f = frecuencia de la prueba en Hz.
T= Temperatura absoluta de la prueba (T=T°C+273,15).
Ts= Temperatura absoluta de referencia (Ts=Ts°C+273,15).

CURVA MAESTRA



OBSERVACIONES: Las líneas puntedas corresponden a intevalos con un nivel de confianza de 99%.

JESSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF3-03

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO ELÁSTICO - CURVA MAESTRA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-03 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 749-07

CODIGO ORDEN: P025-13(34) **PROYECTO:** IDU-039

Referencia: P024 y P025-13_2_3_4_5_6_7. **Fecha Recepción:** 2013-08-19

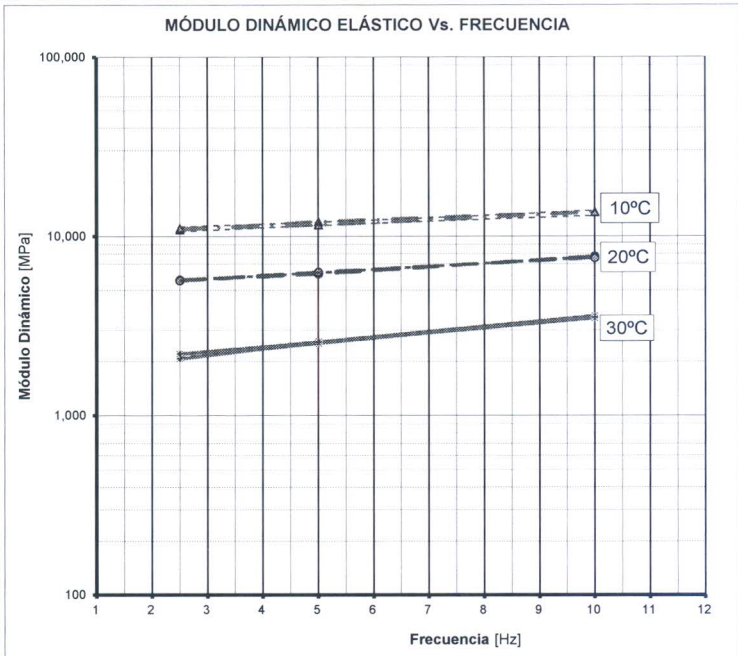
Descripción: Briquetas tipo Marshall MD-12, con cemento asfaltico modificado Cariphalt LT tipo I (LTOA). **Fecha de Ensayo:** 2013-08-23

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y asfalto modificado Cariphalt Lt tipo I.

Ts = 10 °C

T [°C]	Referencia	f [Hz]	X	Módulo Dinámico [MPa]
10	P024 y P025-13_1-1.	2.50	0.92	10652.50
		5.00	1.61	12036.00
		10.00	2.30	12911.00
	P024 y P025-13_1-2.	2.50	0.92	10893.00
		5.00	1.61	12080.50
		10.00	2.30	13682.50
	P024 y P025-13_1-3	2.50	0.92	11079.00
		5.00	1.61	11567.50
		10.00	2.30	13625.50
20	P024 y P025-13_2-1.	2.50	-2.12	5742.00
		5.00	-1.43	6179.00
		10.00	-0.73	7736.00
	P024 y P025-13_2-2.	2.50	-2.12	5660.00
		5.00	-1.43	6258.50
		10.00	-0.73	7667.00
	P024 y P025-13_2-3	2.50	-2.12	5677.00
		5.00	-1.43	6311.00
		10.00	-0.73	7576.00
30	P024 y P025-13_3-1.	2.50	-4.96	2081.50
		5.00	-4.26	2537.50
		10.00	-3.57	3508.50
	P024 y P025-13_3-2.	2.50	-4.96	2205.00
		5.00	-4.26	2580.50
		10.00	-3.57	3605.00
	P024 y P025-13_3-3	2.50	-4.96	2212.50
		5.00	-4.26	2575.00
		10.00	-3.57	3540.00

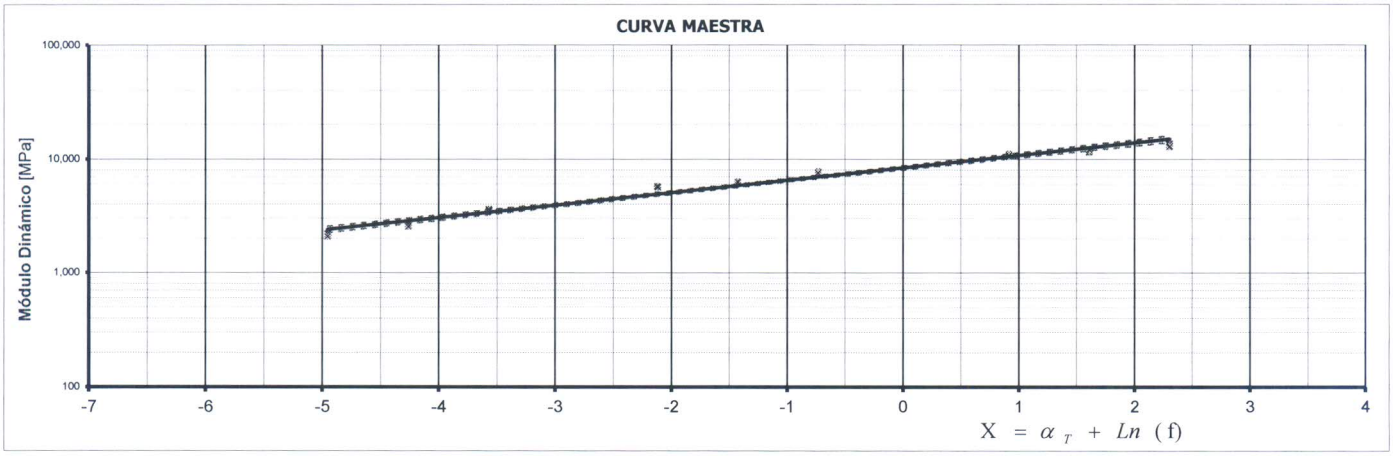
ISOTERMAS



$$X = \alpha_T + Ln(f)$$

$$\alpha_T = 2{,}52 \cdot 10^{4} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s}\right)$$

X = Parámetro de reducción de la Curva Maestra.
α_T = factor de modificación en función de la temperatura.
f = frecuencia de la prueba en Hz.
T= Temperatura absoluta de la prueba (T=T°C+273,15).
Ts= Temperatura absoluta de referencia (Ts=Ts°C+273,15).



OBSERVACIONES: Las líneas puntedas corresponden a intevalos con un nivel de confianza de 99%.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

pp/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF3-04

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FATIGA - ESFUERZO CONTROLADO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-04 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: EN 12697-24-E:2000

Suplemento al informe P025(33)-13(3) de fecha 18 de Octubre de 2013

CODIGO ORDEN: P025-13 (33) **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: P025_13_2_3_4_5_6_7.
Descripción: Briquetas Tipo Marshall MD - 12 Asfalto Cariphalt Lt tipo I (STOA). Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico
Muestra: Cariphalt Lt tipo I.

Fecha Recepción: 2013-08-19
Fecha de Ensayo: 2013-11-22

MUESTRA	TEMP. [°C]	FREC. [Hz]	σ_{max} [kPa]	ε_o ; N 100 [$\mu\varepsilon$]	S_{me} [MPa]	Ciclos de falla N_f	OBSERVACIONES
1_2	20	2.5	500	435	2,357	5,079	
1_3	20	2.5	400	223	3,672	32,046	
1_11	20	2.5	350	256	2,802	39,084	
1_5	20	2.5	350	556	1,290	2,075	
1_1	20	2.5	300	326	1,887	36,547	
1_13	20	2.5	250	218	2,349	82,116	
1_10	20	2.5	200	184	2,231	305,059	
1_8	20	2.5	100	136	1,511	734,000	

$$\varepsilon_{x,max} = \frac{\sigma_{x,max} \cdot (1+3 \cdot \nu)}{S_{me}} \cdot 1.000$$

$\varepsilon_{x,max}$: Deformación inicial horizontal máxima de tensión en el centro de la muestra
$\sigma_{x,max}$: Esfuerzo máximo de tensión aplicado en el centro de la muestra
S_{me} : Módulo Dinámico Elástico bajo un esfuerzo controlado de
ν : Relación de Poisson's asumida como 0,35

Nota 1: ***si R^2 <0,90*** se debe ensayar una nueva muestra y agregarla al rango de datos, si después de agregar 10 datos nuevos ***R^2 < 0,90***, se debe reportar un informe con el significado estadístico de los datos.

OBSERVACIONES: Se descartaron 3 puntos a diferentes esfuerzos por solicitud del cliente. Pendiente en caso de requerir incluir nuevas briquetas.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF3-04

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FATIGA - ESFUERZO CONTROLADO

INFORME DE ENSAYO

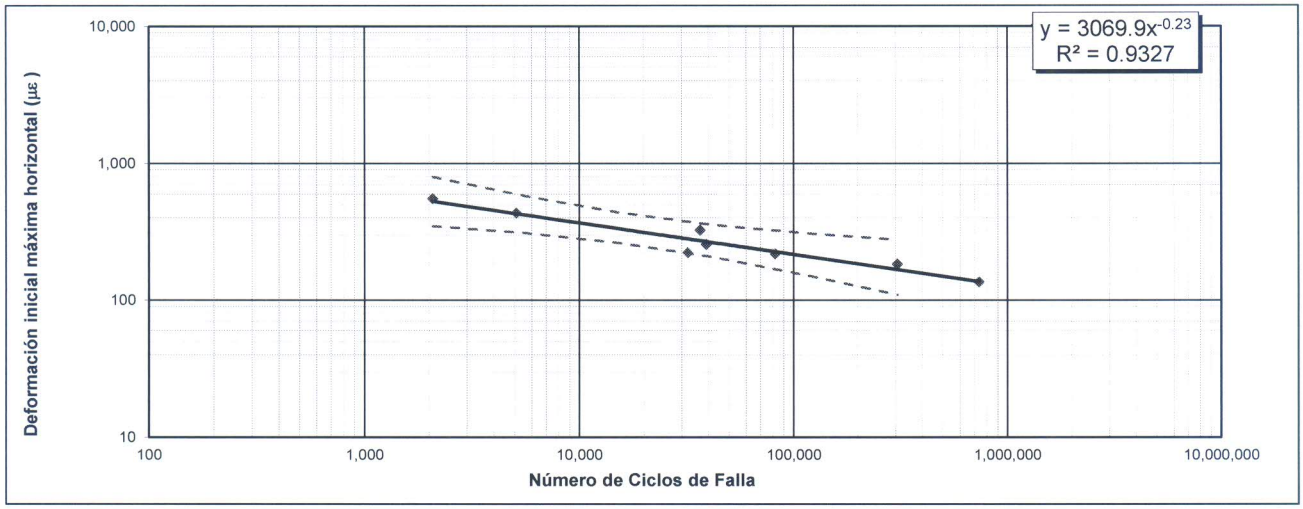
INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-04 | PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: EN 12697-24-E:2000

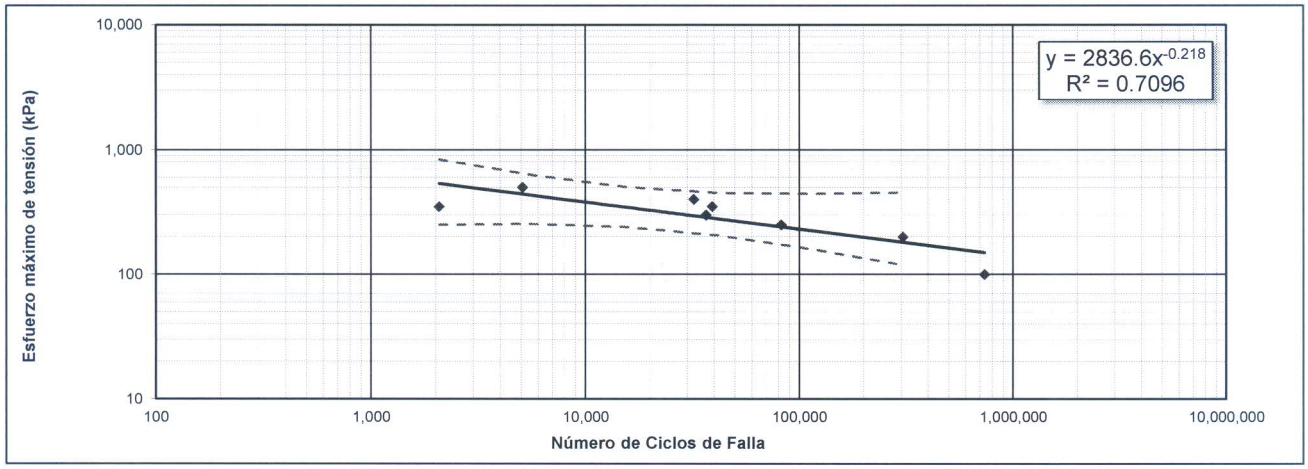
Suplemento al informe P025(33)-13(3) de fecha 18 de Octubre de 2013

CODIGO ORDEN: P025-13(33) | **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: P025_13_2_3_4_5_6_7.
Descripción: Briquetas Tipo Marshall MD - 12 Asfalto Cariphalt Lt tipo I (STOA).
Localización: ----
Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo I.

Fecha Recepción: 2013-08-19
Fecha de Ensayo: 2013-09-19





OBSERVACIONES: Las líneas puntedas corresponden a intevalos con un nivel de confianza de 99%.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF3-04

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FATIGA - ESFUERZO CONTROLADO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-04 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: EN 12697-24-E:2000

CODIGO ORDEN: P025-13 (34) **PROYECTO: IDU 039**

Referencia: 024 y 025_13_2_3_4_5_6_7. **Fecha Recepción:** 2013-08-19

Descripción: Briquetas Tipo Marshall MD-12, con asfalto Cariphalt LT tipo I (LTOA). Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico **Fecha de Ensayo:** 2013-09-06

Muestra: Cariphalt LT tipo I.

MUESTRA	TEMP. [°C]	FREC. [Hz]	σ_{max} [kPa]	ε_0 ; N 100 $[\mu\varepsilon]$	S_{me} [MPa]	Ciclos de falla N_f	OBSERVACIONES
1_7	20	2.5	600	542	2,268	2,571	
1_5	20	2.5	500	287	3,569	6,537	
1_8	20	2.5	450	323	2,855	14,084	
1_4	20	2.5	400	198	4,151	16,518	
1_3	20	2.5	350	199	3,608	76,042	
1_6	20	2.5	350	138	5,206	59,512	
1_9	20	2.5	250	181	2,829	146,562	
1_2	20	2.5	250	153	3,356	78,870	
1_1	20	2.5	150	88	3,492	737,562	

$$\varepsilon_{x,max} = \frac{\sigma_{x,max} \cdot (1+3 \cdot \nu)}{S_{me}} \cdot 1.000$$

$\varepsilon_{x,max}$: Deformación inicial horizontal máxima de tensión en el centro de la muestra
$\sigma_{x,max}$: Esfuerzo máximo de tensión aplicado en el centro de la muestra
S_{me} : Módulo Dinámico Elástico bajo un esfuerzo controlado de
ν : Relación de Poisson's asumida como 0,35

Nota 1: ***si R^2 <0,90*** se debe ensayar una nueva muestra y agregarla al rango de datos, si después de agregar 10 datos nuevos ***R^2 < 0,90***, se debe reportar un informe con el significado estadístico de los datos.

OBSERVACIONES:

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF3-04

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FATIGA - ESFUERZO CONTROLADO

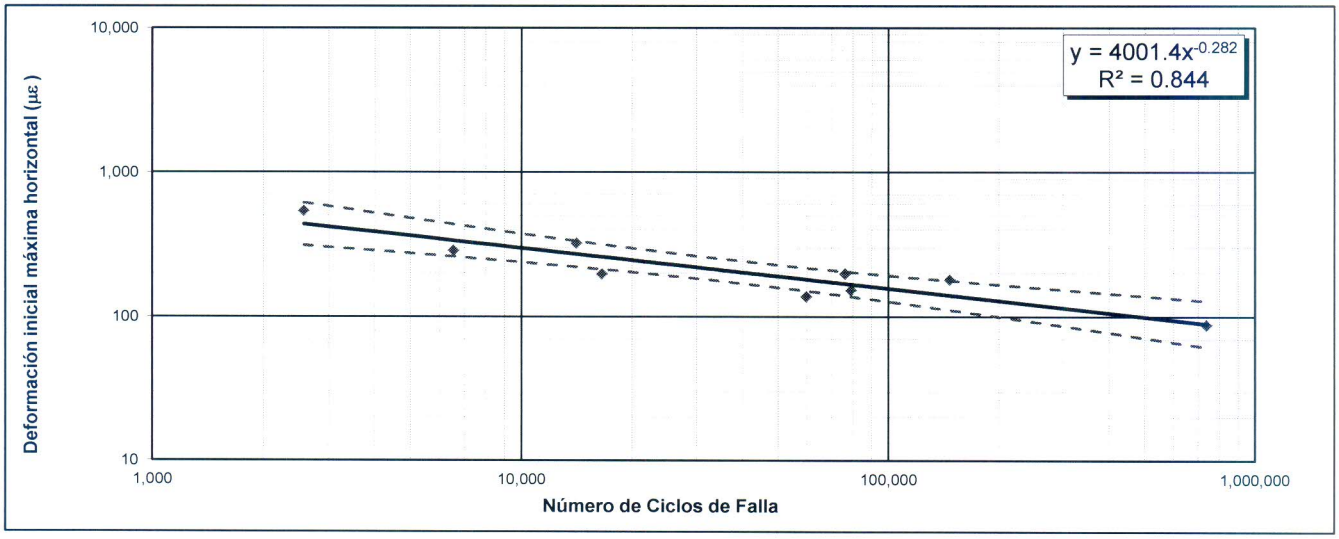
INFORME DE ENSAYO

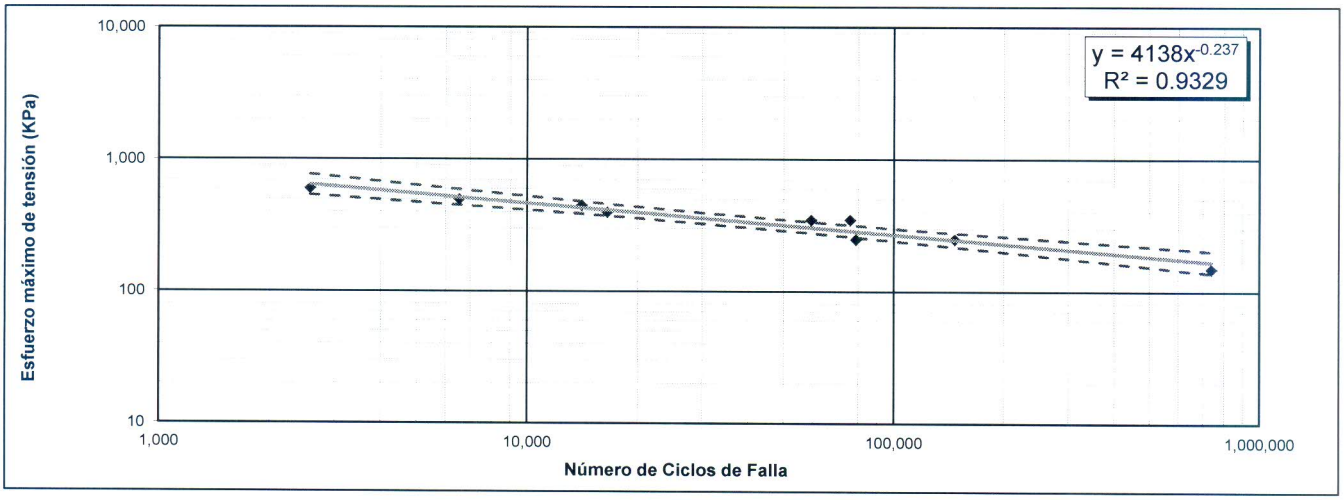
INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-04 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: EN 12697-24-E:2000

CODIGO ORDEN: P025-13 (34) **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: 024 y 025_13_2_3_4_5_6_7.
Descripción: Briquetas Tipo Marshall MD-12, con asfalto Cariphalt LT tipo I (LTOA).
Localización: ----
Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt LT tipo I.

Fecha Recepción: 2013-08-19
Fecha de Ensayo: 2013-09-06





OBSERVACIONES: Las líneas puntedas corresponden a intevalos con un nivel de confianza de 99%.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P025(33)-13	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt It tipo I.	Fecha de recepción:	2013-08-19
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto Cariphalt It tipo I (STOA).	Fecha de ensayo:	2013-09-27

1. RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA

1.1 CONDICIÓN DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO SECO*

Referencia	6	7	8
Altura del espécimen (mm)	66.8	66.5	67.2
Diametro del espécimen (mm)	100.3	100.3	100.3
Vacios (%)	6.2	6.2	6.2
Promedio Vacios (%)		6.2	
Lectura de carga (kg)	1154	1151	1179
Carga Máxima (N)	11320.7	11291.3	11566.0
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	1075.1	1078.1	1092.2

Promedio Resistencia a la Tensión S_1 (kPa) **1081.8**

1.2. CONDICION DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	10	4	5
Altura del espécimen (mm)	67.8	68.1	66.6
Diametro del espécimen (mm)	100.3	100.3	100.3
Vacios (%)	6.1	6.3	6.0
Promedio Vacios (%)		6.1	
Lectura de carga (kg)	1040	997	1056
Carga Máxima (N)	10202.4	9780.6	10359.4
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	955.8	911.7	987.7

Promedio Resistencia a la Tensión S_2 (kPa) **951.7**

1.3 RELACIÓN DE RESISTENCIAS A LA TENSIÓN (TSR) **(S_2/S_1)=** **88.0**

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DR
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN: P025(33)-13 | PROYECTO: IDU 039

Referencia: P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt It tipo I.

Fecha de recepción: 2013-08-19

Descripción: Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto Cariphalt It tipo I (STOA).

Fecha de ensayo: 2013-09-27

2. DETERMINACION DEL GRADO DE SATURACION *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	10	4	5
Peso del espécimen seco al aire (g)	1189.6	1196.7	1179.3
Peso del espécimen después de someterlo a vacío (g)	1212.2	1220.2	1200.1
Volumen de agua absorbida (cm^3)	22.6	23.5	20.8
Volumen inicial del espécimen (cm^3)	524.5	528.9	519.2
Volumen de vacios (cm^3)	32.0	33.3	31.2
Saturación (%)	70.6	70.5	66.8
Grado promedio de saturación después de la saturación parcial (%)	**69.3**		
Peso del espécimen Saturado superficialmente seco (g) (después de la inmersión a 25°C)	1215.9	1224.6	1207.3
Volumen de agua absorbida (después de la inmersión a 25°C) (cm^3)	26.3	27.9	28.0
Saturación (después de la inmersión a 25°C) (%)	82.2	83.7	89.9
Grado promedio de saturación después del acondicionamiento de humedad (%)	**85.3**		

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN: P025(33)-13 | PROYECTO: IDU 039

Referencia: P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt It tipo I.

Fecha de recepción: 2013-08-19

Descripción: Briquetas Tipo marshall - MD 12 Asfalto Cariphalt It tipo I (STOA).

Fecha de ensayo: 2013-09-27

3. DETERMINACION DEL HINCHAMIENTO *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	10	4	5
Peso del espécimen en agua después de someterlo a vacío (g)	684.4	687.8	680.4
Volumen del espécimen después de la saturación parcial (cm^3)	527.8	532.4	519.7
Hinchamiento (%)	0.6	0.7	0.1
Hinchamiento promedio después de la saturación parcial (%)	**0.5**		
Peso del espécimen en agua (g) (después de la inmersión a 25°C)	689.6	693.0	685.9
Volumen del espécimen después del acondicionamiento de humedad (cm^3)	526.3	531.6	521.4
Hinchamiento (después de la inmersión a 25°C) (%)	0.3	0.5	0.4
Hinchamiento promedio después del acondicionamiento de humedad (%)	**0.4**		

OBSERVACIONES: _____

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (33)	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	024 Y 025-12_2_3_4_5_6_7.	Fecha recepción:	2013-08-19
Descripción:	Briquetas tipo marshall MD 12 Asfalto Cariphalt lt tipo I (STOA).	Fecha de ensayo:	2013-09-19

Tipo de Mezcla ---- Método Utilizado A

Briqueta No			4	5	6	----	----
Temperatura del agua		°C	23	22.6	22.6	----	----
Temperatura ambiente		°C	24	23.8	23.2	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1196.7	1179.3	1177	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1201.0	1182.1	1180.2	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	672.1	662.6	660.3	----	----
Constante de corrección k			1.000728	1.000728	1.000728	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$			2.264 ± 0.018*	2.272 ± 0.018*	2.266 ± 0.018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$		kg/m^3	2257.5 ± 18.9*	2264.9 ± 19.0*	2258.7 ± 18.9*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.813 ± 0.180*	0.539 ± 0.119*	0.616 ± 0.136*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla ---- Método Utilizado ---

Briqueta No			7	8	10	----	----
Temperatura del agua		°C	22.6	22.6	22.6	----	----
Temperatura ambiente		°C	23.8	23.8	23.8	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1172.0	1185.1	1189.6	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1175.3	1187.8	1192.7	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	658.0	664.4	668.2	----	----
Constante de corrección k			1.000728	1.000728	1.000728	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$			2.267 ± 0.018*	2.266 ± 0.018*	2.270 ± 0.018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$		kg/m^3	2260.5 ± 18.9*	2259.1 ± 18.9*	2262.9 ± 19.0*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.638 ± 0.282*	0.516 ± 0.228*	0.591 ± 0.261*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LA LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN: P025 (33)-13	PROYECTO: IDU 039
Referencia: P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.	Fecha de ensayo: 2013-09-20
Descripción: Briquetas Tipo marshall	Fecha de recepción: 2013-08-19

Referencia	4	5	6
Gravedad específica bulk	2.264	2.272	2.266
Gravedad específica máxima teórica	2.417	2.417	2.417
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.3%	6.0%	6.2%

OBSERVACIONES: _____

Referencia	7	8	10
Gravedad específica bulk	2.267	2.266	2.270
Gravedad específica máxima teórica	2.417	2.417	2.417
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.2%	6.2%	6.1%

OBSERVACIONES: _____

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-05

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm) Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-05 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 735-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (33)	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7. Mezcla asfaltica MD-12 con ligante asfáltico Cariphalt	Fecha de recepción:	2013-04-11
Descripción:	Lt tipo I.	Fecha de ensayo:	2013-09-12

Tipo de recipiente: Taza de vacío Tipo de procedimiento: Pesada en aire

Prueba No.		1	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	2388.3	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	8784.9	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	7384.8	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A + D - E))		* 2.417 ± 0.007	* ----- ±	* ----- ±	* ----- ±	* ----- ±

OBSERVACIONES: _____

Prueba No.		-----	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A - (E - D))		* ----- ±	* ----- ±	* ----- ±	* ----- ±	* ----- ±

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P025(34)-13	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante Cariphalt Lt tipo I.	Fecha de recepción:	2013-08-19
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 con Ligante Cariphalt Lt tipo I (LTOA).	Fecha de ensayo:	2013-09-27

1. RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA

1.1 CONDICIÓN DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO SECO*

Referencia	1	8	5
Altura del espécimen (mm)	68.1	68.4	68.2
Diametro del espécimen (mm)	100.1	100.1	100.1
Vacios (%)	6.8	6.7	6.8
Promedio Vacios (%)	6.8		
Lectura de carga (kg)	1294	1310	1309
Carga Máxima (N)	12694.1	12851.1	12841.3
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	1184.6	1195.9	1197.1

Promedio Resistencia a la Tensión S_1 (kPa) **1192.5**

1.2. CONDICION DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	2	9	6
Altura del espécimen (mm)	68.5	69.3	68.9
Diametro del espécimen (mm)	100.1	100.1	100.1
Vacios (%)	6.8	7.1	7.1
Promedio Vacios (%)	7.0		
Lectura de carga (kg)	1255	1157	1258
Carga Máxima (N)	12311.6	11350.2	12341.0
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	1143.8	1041.5	1139.8

Promedio Resistencia a la Tensión S_2 (kPa) **1108.4**

1.3 RELACIÓN DE RESISTENCIAS A LA TENSIÓN (TSR) **(S_2/S_1)=** **92.9**

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P025(34)-13	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante Cariphalt Lt tipo I.	Fecha de recepción:	2013-08-19
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 con Ligante Cariphalt Lt tipo I (LTOA).	Fecha de ensayo:	2013-09-27

2. DETERMINACION DEL GRADO DE SATURACION *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	2	9	6
Peso del espécimen seco al aire (g)	1195.0	1194.5	1190.2
Peso del espécimen después de someterlo a vacío (g)	1219.1	1220.3	1214.8
Volumen de agua absorbida (cm^3)	24.1	25.8	24.6
Volumen inicial del espécimen (cm^3)	531	532.5	530.3
Volumen de vacios (cm^3)	36.1	37.8	37.7
Saturación (%)	66.7	68.2	65.3
Grado promedio de saturación después de la saturación parcial (%)	**66.8**		
Peso del espécimen Saturado superficialmente seco (g) (después de la inmersión a 25°C)	1225.2	1227.1	1221.0
Volumen de agua absorbida (después de la inmersión a 25°C) (cm^3)	30.2	32.6	30.8
Saturación (después de la inmersión a 25°C) (%)	83.6	86.2	81.8
Grado promedio de saturación después del acondicionamiento de humedad (%)	**83.9**		

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P025(34)-13	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante Cariphalt Lt tipo I.	Fecha de recepción:	2013-08-19
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 con Ligante Cariphalt Lt tipo I (LTOA).	Fecha de ensayo:	2013-09-27

3. DETERMINACION DEL HINCHAMIENTO *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	2	9	6
Peso del espécimen en agua después de someterlo a vacío (g)	687.6	683.4	681.4
Volumen del espécimen después de la saturación parcial (cm^3)	531.5	536.9	533.4
Hinchamiento (%)	0.1	0.8	0.6
Hinchamiento promedio después de la saturación parcial (%)	**0.5**		
Peso del espécimen en agua (g) (después de la inmersión a 25°C)	692.6	692.4	689.9
Volumen del espécimen después del acondicionamiento de humedad (cm^3)	532.6	534.7	531.1
Hinchamiento (después de la inmersión a 25°C) (%)	0.3	0.4	0.2
Hinchamiento promedio después del acondicionamiento de humedad (%)	**0.3**		

OBSERVACIONES: _____

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D. Ruiz
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN: P025-13 (34) **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: 024 Y 025-13_2_3_4_5_6_7. Fecha recepción: 2013-08-19

Descripción: Briquetas Tipo marshall - MD 12 con Ligante Cariphalt Lt tipo I (LTOA) Fecha de ensayo: 2013-09-18

Tipo de Mezcla: MD 12 con Ligante Cariphalt Lt tipo I. Método Utilizado: A

Briqueta No			1	2	5	----	----
Temperatura del agua		°C	21	21.2	21.2	----	----
Temperatura ambiente		°C	23	22.9	22.9	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1187.3	1195	1184.4	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1191.4	1198.4	1188.9	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	663.8	667.4	662.8	----	----
Constante de corrección k			1.000950	1.000950	1.000950	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$			2.252 ± 0.018*	2.252 ± 0.018*	2.253 ± 0.018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$		kg/m^3	2245.2 ± 18.8*	2245.3 ± 18.8*	2246.1 ± 18.8*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.777 ± 0.172*	0.640 ± 0.141*	0.855 ± 0.189*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No			6	8	9	----	----
Temperatura del agua		°C	21.2	21.2	21.2	----	----
Temperatura ambiente		°C	22.9	22.9	22.9	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1190.2	1191.7	1194.5	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1194.9	1195.8	1200	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	664.6	667	667.5	----	----
Constante de corrección k			1.00095	1.00095	1.00095	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25°C}$			2.246 ± 0.018*	2.255 ± 0.018*	2.245 ± 0.018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25°C}$		kg/m^3	2239.3 ± 18.8*	2248.5 ± 18.8*	2238.1 ± 18.7*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.886 ± 0.392*	0.775 ± 0.343*	1.033 ± 0.456*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LA LABORATORIO

PP/ D. Ruiz
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

4/5

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN: P025 (34)-13	PROYECTO: IDU 039
Referencia: P024 Y P025 - 13_2_3_4_5_6_7.	Fecha de ensayo: 2013-09-27
Descripción: Briquetas Tipo marshall	Fecha de recepción: 2013-04-11

Referencia	1	2	5
Gravedad específica bulk	2.252	2.252	2.253
Gravedad específica máxima teórica	2.417	2.417	2.417
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.8%	6.8%	6.8%

OBSERVACIONES: _____

Referencia	6	8	9
Gravedad específica bulk	2.246	2.255	2.245
Gravedad específica máxima teórica	2.417	2.417	2.417
Porcentaje de Vacios de aire (%)	7.1%	6.7%	7.1%

OBSERVACIONES: _____

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D. R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF3-08

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5255

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA PISTA DE ENSAYO DE LABORATORIO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INVE 756-07

CODIGO ORDEN:	**P025-13(33)**	**PROYECTO:**	**IDU 038**

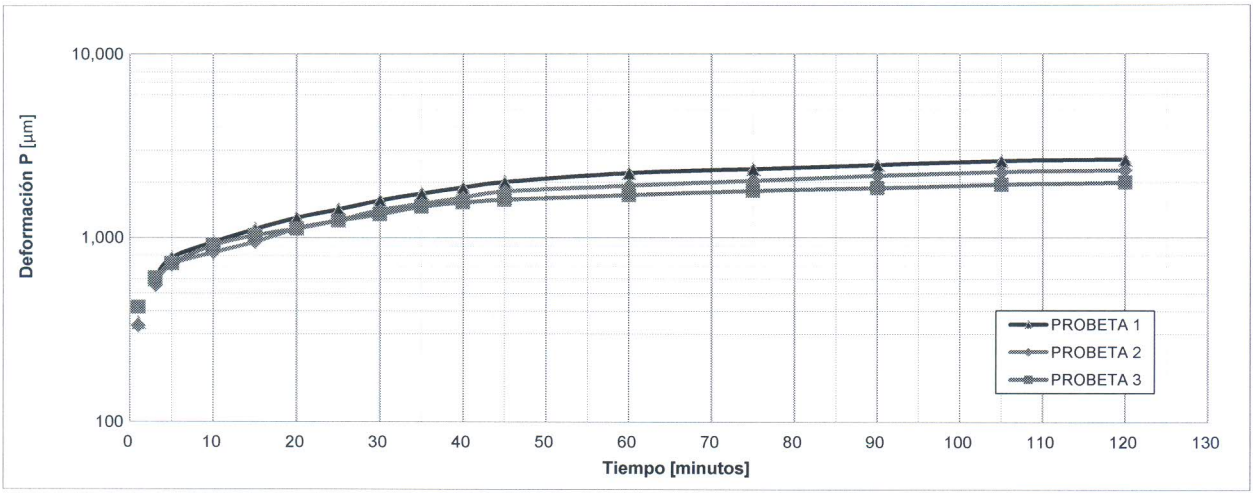
Referencia: P024-P025-13_2_3_4_5_6_7
Muestra: Mezcla asfáltica MD-12 Asfálto Cariphalt LT Tipo I (STOA)
Descripción: Panela de mezcla asfáltica.

Fecha Recepción: 2013-08-19
Fecha de Ensayo: 2013-10-07

I. DATOS DE ENSAYO

Temperatura de ensayo:	(°C)	60
Presión de contacto	(kN/m^2)	900

II. RESULTADOS - GRAFICA DEFORMACIÓN VS TIEMPO



II. RESULTADOS

		Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Deformación total al final del ensayo	(µm)	2670.0	2330.0	1993.3
Velocidad en el intervalo 30 a 45 minutos, V30/45	(µm)/ min	28	25	19
Velocidad en el intervalo de 75 a 90 minutos, V75/90	(µm)/ min	8	8	6
Velocidad en el intervalo de 105 a 120 minutos, V105/120	(µm)/ min	4	3	3

OBSERVACIONES

JEISSON DUBIER HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ Daniel M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

3/3

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF3-08

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5255

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA PISTA DE ENSAYO DE LABORATORIO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INVE 756-07

CODIGO ORDEN: P025-13(34)	**PROYECTO: IDU 038**

Referencia: P024-P025-13_2_3_4_5_6_7 **Fecha Recepción:** 2013-08-19

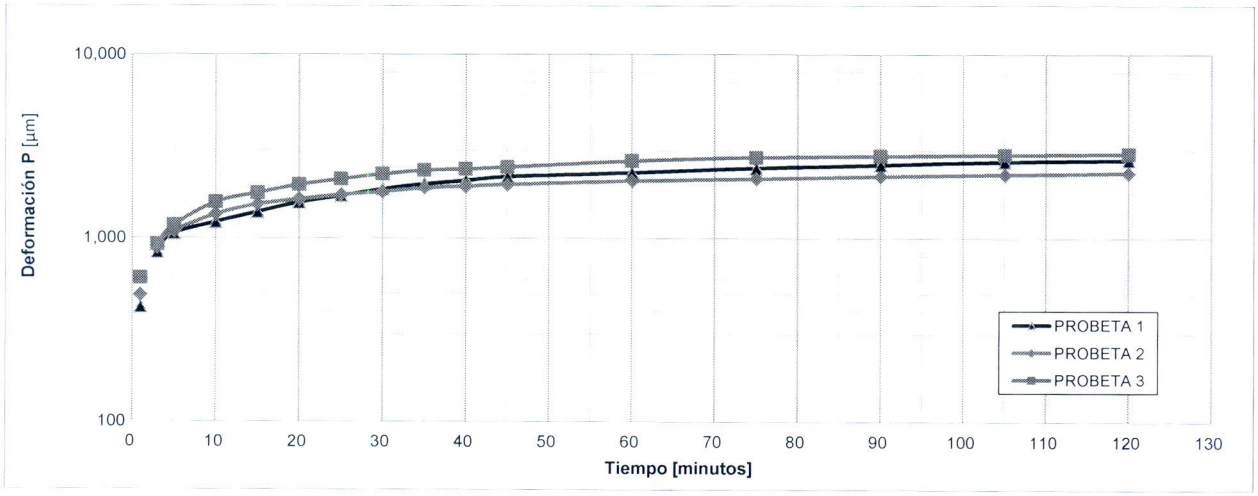
Muestra: Mezcla asfáltica MD-12 Asfálto Cariphalt LT Tipo I (LTOA) **Fecha de Ensayo:** 2013-10-07

Descripción: Panela de mezcla asfáltica.

I. DATOS DE ENSAYO

Temperatura de ensayo:	(°C)	60
Presión de contacto	(kN/m^2)	900

II. RESULTADOS - GRAFICA DEFORMACIÓN VS TIEMPO



II. RESULTADOS

		Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Deformación total al final del ensayo	(µm)	2663.3	2266.7	2876.7
Velocidad en el intervalo 30 a 45 minutos, V30/45	(µm)/ min	21	11	17
Velocidad en el intervalo de 75 a 90 minutos, V75/90	(µm)/ min	8	4	8
Velocidad en el intervalo de 105 a 120 minutos, V105/120	(µm)/ min	3	3	2

OBSERVACIONES

JEISSON DUBIER HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-03

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO EN MEZCLAS EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-03

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E732-07

CÓDIGO ORDEN: P025-13(38) **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: P025-13_2_3_4_5_6_7.

Descripción: Briqueta tipo Marshall MD-12, con cemento asfaltico modificado para mezclas tibias con Cecabase envejecido en LTOA

Fecha Recepción: 2013-08-23

Fecha de Ensayo: 2013-11-07

Referencia	P025-13	P025-13	--
Localización	--	--	--
Apique	--	--	--
Muestra	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con Cecabase.	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con Cecabase	--
Masa porción ensayo, W1 (g)	1522.8	1517.8	--
Masa del agregado mineral extraido, W3 (g)	1438.4	1434.1	--
Peso material mineral en el volumen total del extracto, W4 (g)	2.427	2.496	--
Peso inicial filtro, Pf_i (g)	14.72	14.506	--
Peso final filtro, Pf_f (g)	16.58	16.46	--
Contenido de asfalto (%)	***5.38*** ± ***0.06***	***5.35*** ± ***0.06*** *	± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

ANEXO I. Caracterización dinámica de la mezcla asfáltica MD12 con asfalto Barrancabermeja 60-70 modificado con el producto II

En este anexo se encuentran los resultados de los ensayos de caracterización dinámica de la mezcla asfáltica MD12 con asfalto Barrancabermeja 60-70 modificado con el producto II, listados a continuación:

- Ensayos de estabilidad, flujo y vacíos de aire para análisis de temperaturas de mezclado y compactación.
- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de la mezcla asfáltica sometida a un envejecimiento a corto plazo (STOA).
- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de la mezcla asfáltica sometida a un envejecimiento a corto y largo plazo (STOA + LTOA).
- Ensayo de resistencia a la fatiga a esfuerzo controlado a la mezcla asfáltica sometida a un envejecimiento a corto plazo (STOA).
- Ensayo de resistencia a la fatiga a esfuerzo controlado a la mezcla asfáltica sometida a un envejecimiento a corto y largo plazo (STOA + LTOA).
- Ensayo de resistencia de una mezcla bituminosa compactada al daño causado por humedad sometida a un envejecimiento a corto plazo (STOA).
- Ensayo de resistencia de una mezcla bituminosa compactada al daño causado por humedad sometida a un envejecimiento a corto y largo plazo (STOA + LTOA).
- Ensayo de resistencia a la deformación plástica de la mezcla asfáltica mediante la pista de ensayo de laboratorio sometida a un envejecimiento a corto plazo (STOA).
- Ensayo de resistencia a la deformación plástica de la mezcla asfáltica mediante la pista de ensayo de laboratorio sometida a un envejecimiento a corto y largo plazo (STOA + LTOA).

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF3-03

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO ELÁSTICO - CURVA MAESTRA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-03 — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 749-07

CODIGO ORDEN: P025-13(32) | **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: P024 y P025-12_2_3_4_5_6_7. | **Fecha Recepción:** 2013-08-19

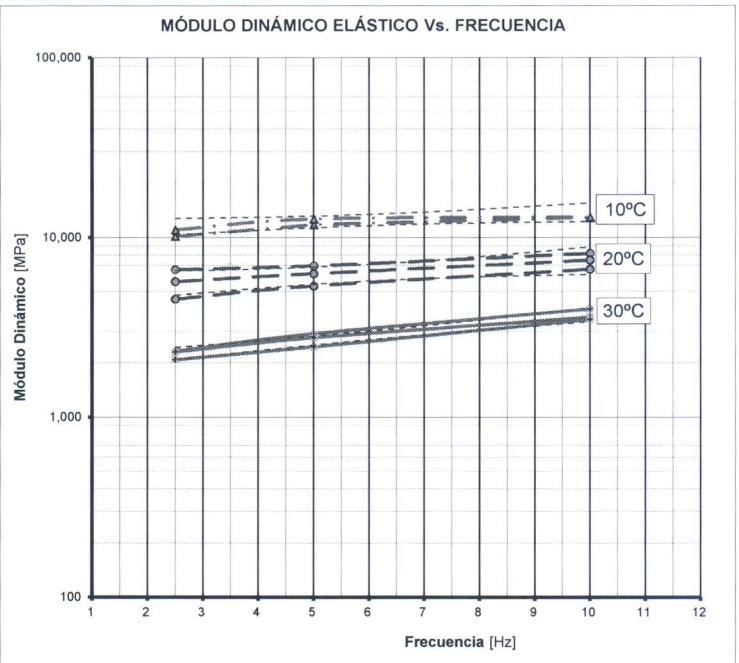
Descripción: Briquetas tipo Marshall MD-12, con cemento asfaltico modificado Cariphalt Lt tipo II (STOA). | **Fecha de Ensayo:** 2013-08-23

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y asfalto modificado Cariphalt Lt tipo II.

Ts = 10 °C

T [°C]	Referencia	f [Hz]	X	Módulo Dinámico [MPa]
10	P024 y P025-12_1-1.	2.50	0.92	12271.50
		5.00	1.61	14067.00
		10.00	2.30	14940.00
	P024 y P025-12_1-2.	2.50	0.92	10168.00
		5.00	1.61	11783.50
		10.00	2.30	12903.00
	P024 y P025-12_1-3	2.50	0.92	11053.50
		5.00	1.61	12674.00
		10.00	2.30	12979.50
20	P024 y P025-12_2-1.	2.50	-2.12	6638.50
		5.00	-1.43	6976.00
		10.00	-0.73	8159.50
	P024 y P025-12_2-2.	2.50	-2.12	4552.00
		5.00	-1.43	5379.50
		10.00	-0.73	6660.50
	P024 y P025-12_2-3	2.50	-2.12	5690.00
		5.00	-1.43	6300.00
		10.00	-0.73	7495.00
30	P024 y P025-12_3-1.	2.50	-4.96	2328.50
		5.00	-4.26	2912.00
		10.00	-3.57	3992.00
	P024 y P025-12_3-2.	2.50	-4.96	2307.50
		5.00	-4.26	2765.00
		10.00	-3.57	3601.50
	P024 y P025-12_3-3	2.50	-4.96	2086.00
		5.00	-4.26	2460.00
		10.00	-3.57	3497.50

ISOTERMAS

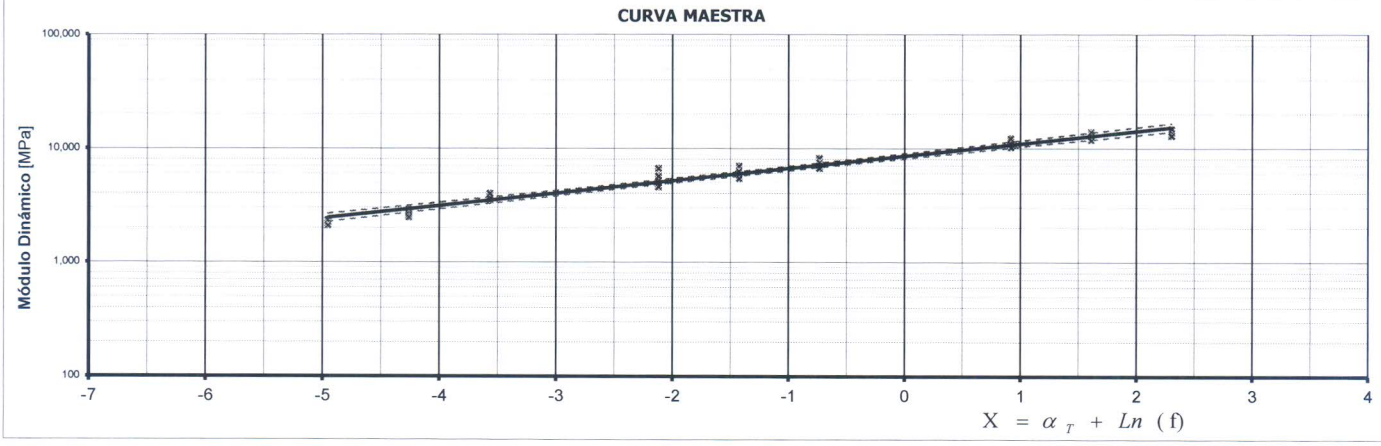


$$X = \alpha_T + Ln(f)$$

$$\alpha_T = 2{,}52 \cdot 10^{4} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s}\right)$$

X = Parámetro de reducción de la Curva Maestra.
α_T = factor de modificación en función de la temperatura.
f = frecuencia de la prueba en Hz.
T= Temperatura absoluta de la prueba (T=T°C+273,15).
Ts= Temperatura absoluta de referencia (Ts=Ts°C+273,15).

CURVA MAESTRA



OBSERVACIONES: Las líneas puntedas corresponden a intevalos con un nivel de confianza de 99%.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO ELÁSTICO - CURVA MAESTRA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-03 — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 749-07

CODIGO ORDEN: P025-13(31) **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: P024 y P025-12_2_3_4_5_6_7. **Fecha Recepción:** 2013-08-19

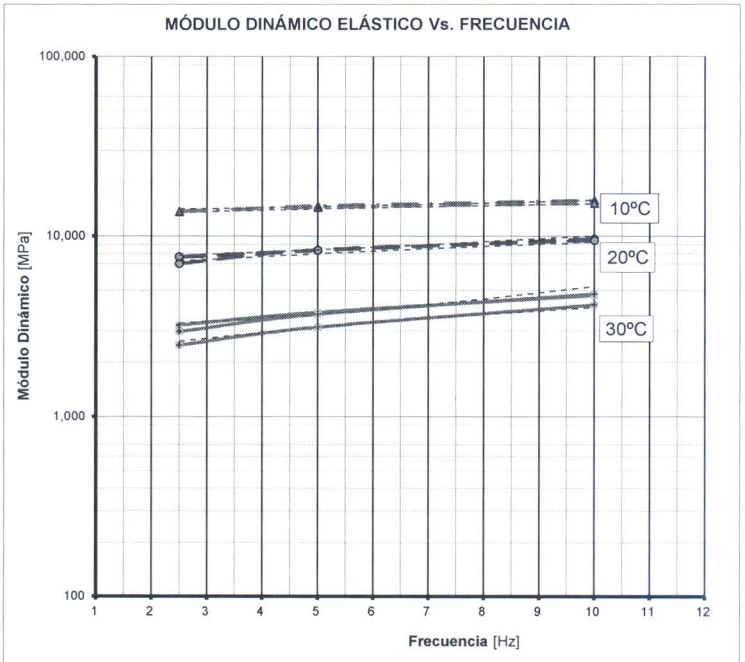
Descripción: Briquetas tipo Marshall MD-12, con cemento asfaltico modificado Cariphalt Lt tipo II (LTOA). **Fecha de Ensayo:** 2013-08-23

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar) y asfalto modificado Cariphalt Lt tipo II.

Ts = 10 °C

T [°C]	Referencia	f [Hz]	X	Módulo Dinámico [MPa]
10	P024 y P025-12_1-1.	2.50	0.92	13854.00
		5.00	1.61	14271.00
		10.00	2.30	15237.00
	P024 y P025-12_1-2.	2.50	0.92	13716.00
		5.00	1.61	14808.00
		10.00	2.30	15890.50
	P024 y P025-12_1-3	2.50	0.92	13778.00
		5.00	1.61	14476.50
		10.00	2.30	15254.00
20	P024 y P025-12_2-1.	2.50	-2.12	7620.00
		5.00	-1.43	8321.00
		10.00	-0.73	9597.50
	P024 y P025-12_2-2.	2.50	-2.12	7687.50
		5.00	-1.43	8349.00
		10.00	-0.73	9665.50
	P024 y P025-12_2-3	2.50	-2.12	7021.50
		5.00	-1.43	8387.50
		10.00	-0.73	9489.00
30	P024 y P025-12_3-1.	2.50	-4.96	3222.50
		5.00	-4.26	3791.00
		10.00	-3.57	4703.00
	P024 y P025-12_3-2.	2.50	-4.96	2965.00
		5.00	-4.26	3704.50
		10.00	-3.57	4783.00
	P024 y P025-12_3-3	2.50	-4.96	2494.00
		5.00	-4.26	3139.00
		10.00	-3.57	4170.00

ISOTERMAS

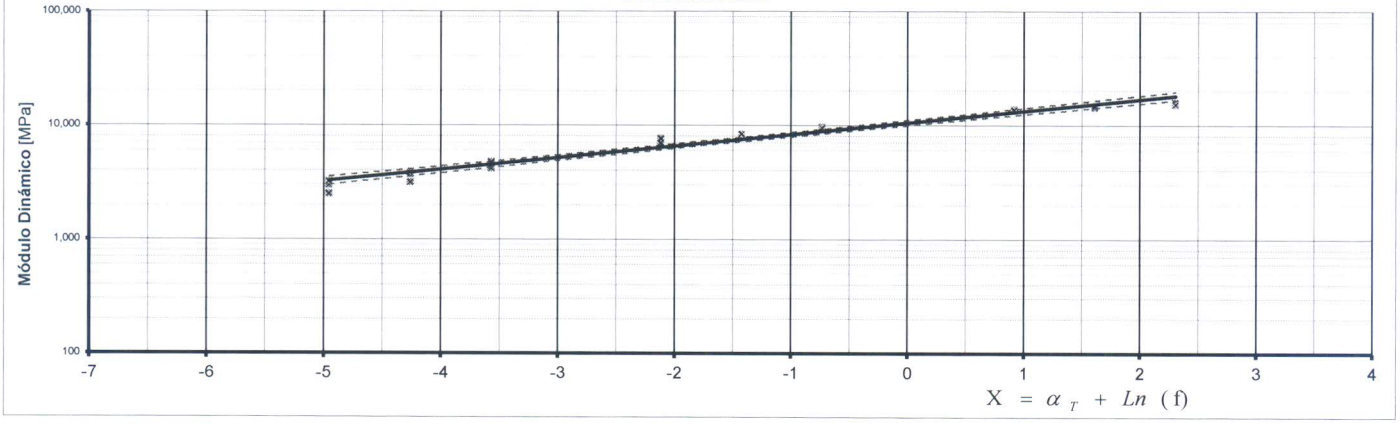


$$X = \alpha_T + Ln(f)$$

$$\alpha_T = 2{,}52 \cdot 10^{4} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s}\right)$$

X = Parámetro de reducción de la Curva Maestra.
α_T = factor de modificación en función de la temperatura.
f = frecuencia de la prueba en Hz.
T= Temperatura absoluta de la prueba (T=T°C+273,15).
Ts= Temperatura absoluta de referencia (Ts=Ts°C+273,15).

CURVA MAESTRA



OBSERVACIONES: Las líneas puntedas corresponden a intevalos con un nivel de confianza de 99%.

EISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

Bogotá, 06 de diciembre de 2013

LAB_P025(32)_13 (3) SUPLEMENTO

Señores
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
Departamento de Ingeniería Civil
Atn: Ing. Freddy Alberto Reyes Lizcano
Ext. 5270
Bogotá

Referencia: **REMISIÓN DEL SUPLEMENTO AL INFORME LAB_P025(32)_13 (3) DE FECHA 18 DE OCTUBRE DE 2013.**

Apreciados Señores:

A continuación se presenta el SUPLEMENTO AL INFORME LAB_P025(32)_13 (3) DE FECHA 18 DE OCTUBRE DE 2013, correspondiente a los ensayos de Resistencia a la fatiga – Esfuerzo controlado, de acuerdo a la solicitud realizada por ustedes de repetir 2 puntos.

Para la realización de los ensayos se utilizó la metodología indicada en las normas relacionadas en los formatos de informe de resultados, EN 12697-24-E:2000. Las muestras sujetas a ensayo fueron entregadas por el solicitante y por lo tanto los resultados solo afectan los objetos sometidos al ensayo.

Le informamos que en caso de haber muestras sobrantes estas se conservarán por un período de un mes.

El presente informe no deberá reproducirse parcial o completamente sin la aprobación por escrito de los Laboratorios de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana. (Literal K del artículo 12, Anexo 3 de la resolución 140 del 4 de febrero de 1994 de la Superintendencia de Industria y Comercio del ministerio de Desarrollo).

Quedo atento a cualquier inquietud que estimen conveniente.

DANIEL MAURICIO RUIZ VALENCIA
Jefe de Laboratorio

Anexo: Resistencia a la fatiga – Esfuerzo controlado (2 páginas).

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF3-04

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FATIGA - ESFUERZO CONTROLADO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-04 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: EN 12697-24-E:2000

Suplemento al informe LAB_P025(32)_13(3) de fecha 18 de Octubre de 2013

CODIGO ORDEN: P025-13 (32) **PROYECTO: IDU 039**

Referencia: P025_12_2_3_4_5_6_7.

Descripción: Briquetas Tipo Marshall MD - 12 Asfalto Cariphalt Lt tipo II (STOA). Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico

Muestra: Cariphalt Lt tipo II.

Fecha Recepción: 2013-08-19

Fecha de Ensayo: 2013-12-05

MUESTRA	TEMP. [°C]	FREC. [Hz]	σ_{max} [kPa]	ε_o ; N_{100} [$\mu\varepsilon$]	S_{me} [MPa]	Ciclos de falla N_f	OBSERVACIONES
1_4	20	2.5	400	483	1,697	12,187	
1_1	20	2.5	400	213	3,847	50,100	
1_7	20	2.5	300	307	2,003	63,050	
1_8	20	2.5	300	260	2,363	136,850	
1_9	20	2.5	300	243	2,535	149,200	
1_5	20	2.5	200	125	3,282	956,626	
1_2	20	2.5	100	166	1,238	129,200	
1_3	20	2.5	100	225	912	149,600	

$$\varepsilon_{x,max} = \frac{\sigma_{x,max} \cdot (1+3 \cdot \nu)}{S_{me}} \cdot 1.000$$

$\varepsilon_{x,max}$: Deformación inicial horizontal máxima de tensión en el centro de la muestra

$\sigma_{x,max}$: Esfuerzo máximo de tensión aplicado en el centro de la muestra

S_{me} : Módulo Dinámico Elástico bajo un esfuerzo controlado de

ν : Relación de Poisson's asumida como 0,35

Nota 1: ***si R^2 <0,90*** se debe ensayar una nueva muestra y agregarla al rango de datos, si después de agregar 10 datos nuevos ***R^2 < 0,90***, se debe reportar un informe con el significado estadístico de los datos.

OBSERVACIONES:

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF3-04

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FATIGA - ESFUERZO CONTROLADO

INFORME DE ENSAYO

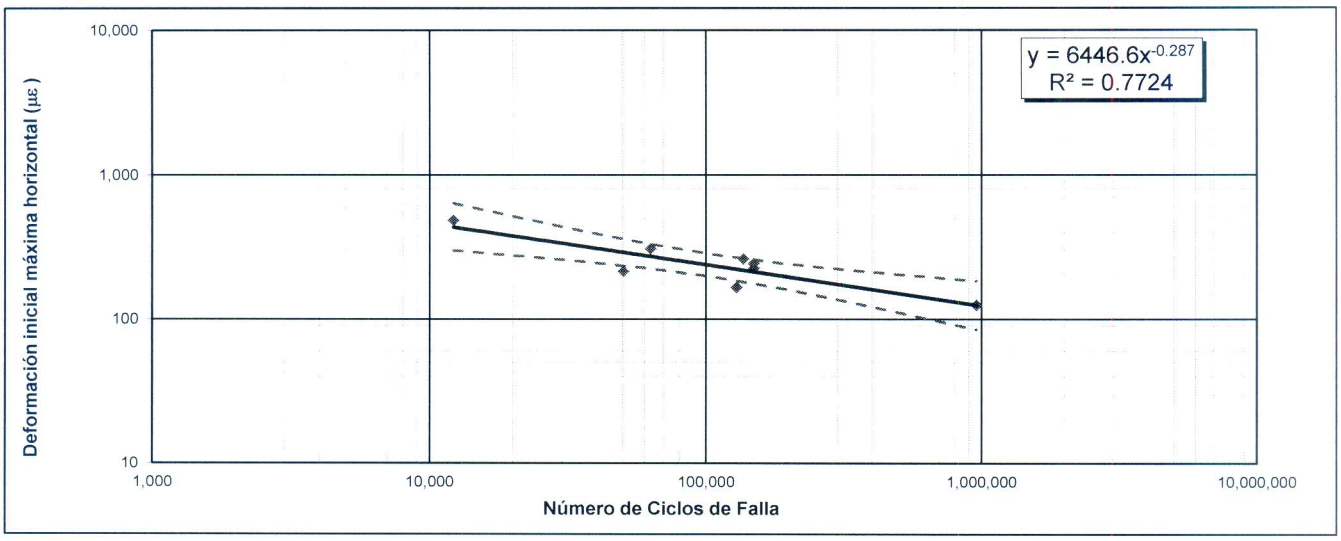
INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-04 | PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: EN 12697-24-E:2000

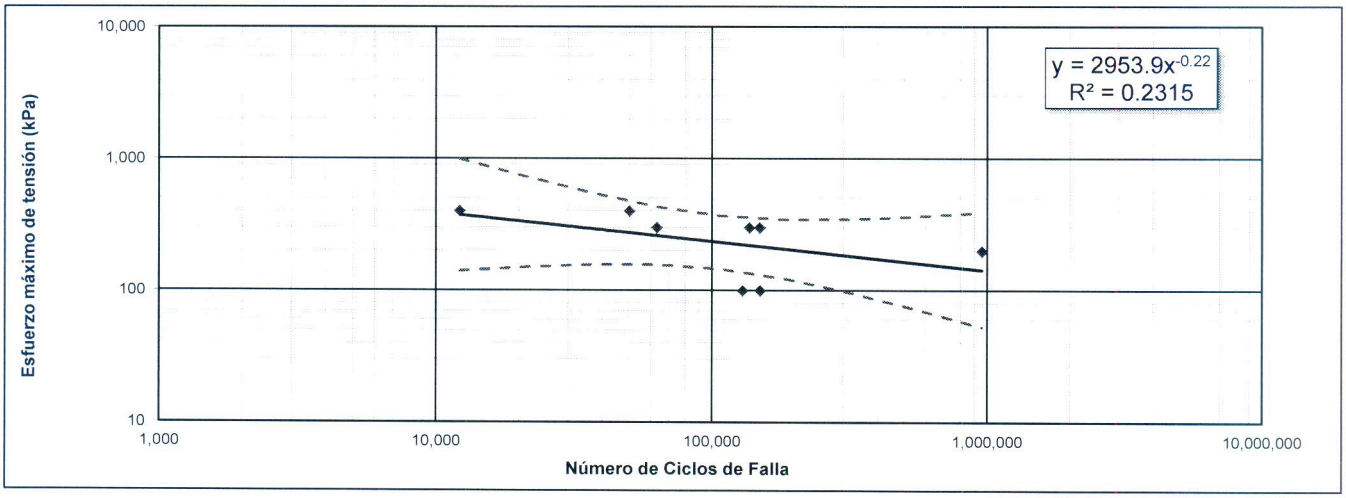
Suplemento al informe LAB_P025(32)_13(3) de fecha 18 de Octubre de 2013

CODIGO ORDEN: P025-13 (32) | **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: P025_12_2_3_4_5_6_7.
Descripción: Briquetas Tipo Marshall MD - 12 Asfalto Cariphalt Lt tipo II (STOA).
Localización: ----
Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II.

Fecha Recepción: 2013-08-19
Fecha de Ensayo: 2013-09-19





OBSERVACIONES: Las líneas puntedas corresponden a intevalos con un nivel de confianza de 99%.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

Bogotá, 05 de diciembre de 2013

LAB_P024 - P025 (31)_13 (3) SUPLEMENTO

Señores
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
Departamento de Ingeniería Civil
Atn: Ing. Freddy Alberto Reyes Lizcano
Ext. 5270
Bogotá

Referencia: **REMISIÓN DEL SUPLEMENTO AL INFORME LAB_P024 – P025(31)_13 (3) DE FECHA 18 DE OCTUBRE DE 2013.**

Apreciados Señores:

A continuación se presenta el SUPLEMENTO AL INFORME LAB_P024 – P025(31)_13 (3) DE FECHA 18 DE OCTUBRE DE 2013, correspondiente a los ensayos de Resistencia a la fatiga-Esfuerzo controlado, en el cual se retiran unos puntos, de acuerdo a la solicitud realizada por ustedes.

Para la realización de los ensayos se utilizó la metodología indicada en las normas relacionadas en los formatos de informe de resultados, EN-123697-24-E:2000. Las muestras sujetas a ensayo fueron entregadas por el solicitante y por lo tanto los resultados solo afectan los objetos sometidos al ensayo.

Le informamos que en caso de haber muestras sobrantes estas se conservarán por un período de un mes.

El presente informe no deberá reproducirse parcial o completamente sin la aprobación por escrito de los Laboratorios de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana. (Literal K del artículo 12, Anexo 3 de la resolución 140 del 4 de febrero de 1994 de la Superintendencia de Industria y Comercio del ministerio de Desarrollo).

Quedo atento a cualquier inquietud que estimen conveniente.

DANIEL MAURICIO RUIZ VALENCIA
Jefe de Laboratorio

Anexo: Resistencia a la fatiga-Esfuerzo controlado (2 páginas).

Calle 40 No. 5-50 Facultad de Ingeniería - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá , D.C.
Telfax. (57-1) 3208320 Ext. 5373 5399 5269 5268

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF3-04

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FATIGA - ESFUERZO CONTROLADO

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-04 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: EN 12697-24-E:2000

Suplemento al informe LAB_P024_P025(31)_13(3) de fecha 18 de octubre de 2013

CODIGO ORDEN: P025-13 (31) **PROYECTO: IDU 039**

Referencia: P025_12_2_3_4_5_6_7.

Descripción: Briquetas Tipo Marshall MD - 12 Asfalto Cariphalt Lt tipo II (LTOA).

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II.

Fecha Recepción: 2013-08-19

Fecha de Ensayo: 2013-09-23

MUESTRA	TEMP. [°C]	FREC. [Hz]	σ_{max} [kPa]	ε_o ; N 100 [$\mu\varepsilon$]	S_{me} [MPa]	Ciclos de falla N_f	OBSERVACIONES
1_5	20	2.5	500	237	4,333	12,608	
1_10	20	2.5	500	432	2,372	7,123	
1_7	20	2.5	450	705	1,309	903	
1_9	20	2.5	450	280	3,289	16,512	
1_6	20	2.5	400	165	4,980	57,071	
1_11	20	2.5	350	201	3,572	115,850	
1_3	20	2.5	350	168	4,266	776,764	
1_12	20	2.5	300	168	3,665	165,600	

$$\varepsilon_{x,max} = \frac{\sigma_{x,max} \cdot (1+3 \cdot \nu)}{S_{me}} \cdot 1.000$$

$\varepsilon_{x,max}$: Deformación inicial horizontal máxima de tensión en el centro de la muestra

$\sigma_{x,max}$: Esfuerzo máximo de tensión aplicado en el centro de la muestra

S_{me} : Módulo Dinámico Elástico bajo un esfuerzo controlado de

ν : Relación de Poisson's asumida como 0,35

Nota 1: ***si R^2 <0,90*** se debe ensayar una nueva muestra y agregarla al rango de datos, si después de agregar 10 datos nuevos ***R^2 < 0,90***, se debe reportar un informe con el significado estadístico de los datos.

OBSERVACIONES: Se descartaron 4 puntos a diferentes esfuerzos por solicitud del cliente. Pendiente en caso de requerir incluir nuevas briquetas.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF3-04

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FATIGA - ESFUERZO CONTROLADO

INFORME DE ENSAYO

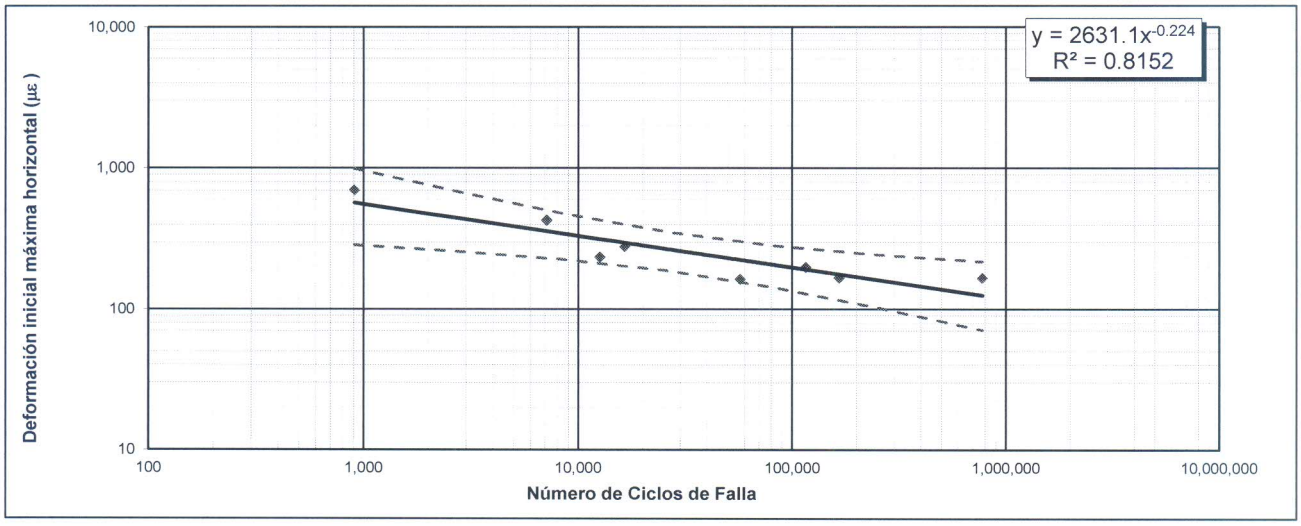
INSTRUCTIVO DE ENSAYO:IE-AF3-04 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: EN 12697-24-E:2000

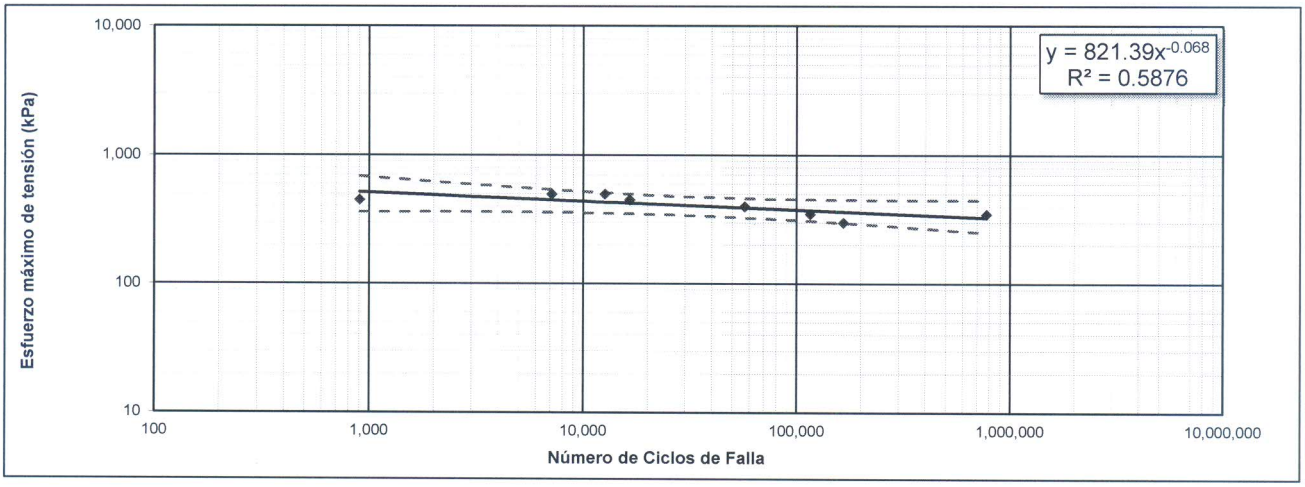
Suplemento al informe LAB_P024_P025(31)_13(3) de fecha 18 de octubre de 2013

CODIGO ORDEN: P025-13 (31) **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: P025_12_2_3_4_5_6_7.
Descripción: Briquetas Tipo Marshall MD - 12 Asfalto Cariphalt Lt tipo II (LTOA).
Localización: ----
Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II.

Fecha Recepción: 2013-08-19
Fecha de Ensayo: 2013-09-19





OBSERVACIONES: Las líneas puntedas corresponden a intevalos con un nivel de confianza de 99%.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN: P025(32)-13 | PROYECTO: IDU 039

Referencia: P024 Y P025 - 12_2_3_4_5_6_7.

Muestra: Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II.

Descripción: Briquetas Tipo marshall - MD 12 Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II (STOA).

Fecha de recepción: 2013-08-19

Fecha de ensayo: 2013-09-27

1. RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA

1.1 CONDICIÓN DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO SECO*

Referencia	4	9	10
Altura del espécimen (mm)	67.5	68.1	68.3
Diametro del espécimen (mm)	100.3	100.3	100.3
Vacios (%)	6.7	7.0	7.0
Promedio Vacios (%)		6.9	
Lectura de carga (kg)	1274	1271	1272
Carga Máxima (N)	12497.9	12468.5	12478.3
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	1175.3	1162.6	1159.6

Promedio Resistencia a la Tensión S_1 (kPa) **1165.8**

1.2. CONDICION DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	3	5	6
Altura del espécimen (mm)	66.7	67.6	66.8
Diametro del espécimen (mm)	100.3	100.3	100.3
Vacios (%)	6.7	6.5	6.0
Promedio Vacios (%)		6.4	
Lectura de carga (kg)	1107	1151	1130
Carga Máxima (N)	10859.7	11291.3	11085.3
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	1033.0	1060.1	1053.0

Promedio Resistencia a la Tensión S_2 (kPa) **1048.7**

1.3 RELACIÓN DE RESISTENCIAS A LA TENSIÓN (TSR) **(S_2/S_1)=** **90.0**

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

1/6

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P025(32)-13	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 12_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II.	Fecha de recepción:	2013-08-19
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II (STOA).	Fecha de ensayo:	2013-09-27

2. DETERMINACION DEL GRADO DE SATURACION *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	3	5	6
Peso del espécimen seco al aire (g)	1160.2	1187.3	1182.6
Peso del espécimen después de someterlo a vacío (g)	1186.2	1212.1	1206.3
Volumen de agua absorbida (cm^3)	26.0	24.8	23.7
Volumen inicial del espécimen (cm^3)	515.1	526.1	521.1
Volumen de vacios (cm^3)	34.5	34.2	31.3
Saturación (%)	75.3	72.5	75.8
Grado promedio de saturación después de la saturación parcial (%)	**74.6**		
Peso del espécimen Saturado superficialmente seco (g) (después de la inmersión a 25°C)	1187.8	1215.6	1209.0
Volumen de agua absorbida (después de la inmersión a 25°C) (cm^3)	27.6	28.3	26.4
Saturación (después de la inmersión a 25°C) (%)	80.0	82.8	84.4
Grado promedio de saturación después del acondicionamiento de humedad (%)	**82.4**		

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

2/6

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P025(32)-13	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 12_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II.	Fecha de recepción:	2013-08-19
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II (STOA).	Fecha de ensayo:	2013-09-27

3. DETERMINACION DEL HINCHAMIENTO *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	3	5	6
Peso del espécimen en agua después de someterlo a vacío (g)	664.3	682.4	681.7
Volumen del espécimen después de la saturación parcial (cm^3)	521.9	529.7	524.6
Hinchamiento (%)	1.3	0.7	0.7
Hinchamiento promedio después de la saturación parcial (%)	**0.9**		
Peso del espécimen en agua (g) (después de la inmersión a 25°C)	670.7	687.8	686.4
Volumen del espécimen después del acondicionamiento de humedad (cm^3)	517.1	527.8	522.6
Hinchamiento (después de la inmersión a 25°C) (%)	0.4	0.3	0.3
Hinchamiento promedio después del acondicionamiento de humedad (%)	**0.3**		

OBSERVACIONES: _____

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

3/6

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN: P025-13 (32) **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: 024 Y 025-12_2_3_4_5_6_7. Fecha recepción: 2013-08-19

Descripción: Briquetas tipo Marshall con Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II (STOA). Fecha de ensayo: 2013-09-12

Tipo de Mezcla ---- Método Utilizado A

Briqueta No			3	4	5	----	----
Temperatura del agua		°C	23	22.6	22.6	----	----
Temperatura ambiente		°C	24	23.8	23.8	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1160.2	1185.3	1187.3	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1165.3	1187.9	1189.7	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	650.2	661.7	663.6	----	----
Constante de corrección k			1.000728	1.000728	1.000728	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2.254 ± 0.018*	2.254 ± 0.018*	2.258 ± 0.018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2247.3 ± 18.8*	2247.4 ± 18.8*	2251.7 ± 18.9*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.990 ± 0.219*	0.494 ± 0.109*	0.456 ± 0.101*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla ---- Método Utilizado ---

Briqueta No			6	9	10	----	----
Temperatura del agua		°C	22.6	22.6	22.6	----	----
Temperatura ambiente		°C	23.8	23.8	23.8	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1182.6	1190.5	1188.5	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1184.9	1193.3	1191.4	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	663.8	663.2	661.9	----	----
Constante de corrección k			1.000728	1.000728	1.000728	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2.271 ± 0.018*	2.247 ± 0.018*	2.246 ± 0.018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2264.3 ± 19.0*	2240.7 ± 18.8*	2239.5 ± 18.8*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.441 ± 0.195*	0.528 ± 0.233*	0.548 ± 0.242*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LA LABORATORIO

PP/D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN: P025 (32)-13	PROYECTO: IDU 039
Referencia: P024 Y P025 - 12_2_3_4_5_6_7.	Fecha de ensayo: 2013-09-19
Descripción: Briquetas Tipo marshall	Fecha de recepción: 2013-08-19

Referencia	3	4	5
Gravedad específica bulk	2.254	2.254	2.258
Gravedad específica máxima teórica	2.416	2.416	2.416
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.7%	6.7%	6.5%

OBSERVACIONES: _____

Referencia	6	9	10
Gravedad específica bulk	2.271	2.247	2.246
Gravedad específica máxima teórica	2.416	2.416	2.416
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.0%	7.0%	7.0%

OBSERVACIONES: _____

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D. R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

5/6

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-05

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm) Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-05 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 735-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (32)	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	024 Y 025-12_2_3_4_5_6_7.	Fecha de recepción:	2013-08-19
Descripción:	Mezcla asfaltica con Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II.	Fecha de ensayo:	2013-09-12

Tipo de recipiente: Taza de vacío Tipo de procedimiento: Pesada en aire

Prueba No.		1	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	2388.5	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	8748.6	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	7348.9	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A + D - E))		2.416 ± 0.007 *	----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *

OBSERVACIONES: _____

Prueba No.		-----	-----	-----	-----	-----
Peso de la muestra (A)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + muestra + Agua (E)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Peso del picnómetro + agua a 25ºC (D)	g	-----	-----	-----	-----	-----
Gs= A / (A - (E - D))		----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *	----- ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ D. R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

6/6

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P025(31)-13	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 12_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II.	Fecha de recepción:	2013-08-19
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II (LTOA).	Fecha de ensayo:	2013-09-27

1. RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA

1.1 CONDICIÓN DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO SECO*

Referencia	10	7	8
Altura del espécimen (mm)	67.9	67.3	67.7
Diametro del espécimen (mm)	100.2	100.1	100.1
Vacios (%)	6.3	6.0	6.5
Promedio Vacios (%)		6.3	
Lectura de carga (kg)	1391	1417	1380
Carga Máxima (N)	13645.7	13900.8	13537.8
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	1278.3	1313.6	1272.0

Promedio Resistencia a la Tensión S_1 (kPa) **1288.0**

1.2. CONDICION DE LOS ESPÉCIMENES *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	9	5	6
Altura del espécimen (mm)	68.0	68.0	68.1
Diametro del espécimen (mm)	100.1	100.1	100.1
Vacios (%)	6.4	6.4	6.5
Promedio Vacios (%)		6.4	
Lectura de carga (kg)	1310	1311	1300
Carga Máxima (N)	12851.1	12860.9	12753.0
Resistencia a la Tensión (kPa) S_2	1201.6	1203.2	1190.8

Promedio Resistencia a la Tensión S_2 (kPa) **1198.5**

1.3 RELACIÓN DE RESISTENCIAS A LA TENSIÓN (TSR) **(S_2/S_1)=** **93.1**

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

V°B°
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

1/5

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P025(31)-13	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 12_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II.	Fecha de recepción:	2013-08-19
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II (LTOA).	Fecha de ensayo:	2013-09-27

2. DETERMINACION DEL GRADO DE SATURACION *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	9	5	6
Peso del espécimen seco al aire (g)	1189.5	1192.9	1190.9
Peso del espécimen después de someterlo a vacío (g)	1214.2	1217.1	1216.7
Volumen de agua absorbida (cm^3)	24.7	24.2	25.8
Volumen inicial del espécimen (cm^3)	526.5	527.9	527.8
Volumen de vacios (cm^3)	33.7	33.8	34.3
Saturación (%)	73.3	71.6	75.2
Grado promedio de saturación después de la saturación parcial (%)	**73.4**		
Peso del espécimen Saturado superficialmente seco (g) (después de la inmersión a 25°C)	1216.7	1219.5	1223.2
Volumen de agua absorbida (después de la inmersión a 25°C) (cm^3)	27.2	26.6	32.3
Saturación (después de la inmersión a 25°C) (%)	80.7	78.7	94.1
Grado promedio de saturación después del acondicionamiento de humedad (%)	**84.5**		

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

VoBo D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

2/5

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-11

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

RESISTENCIA DE UNA MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA AL DAÑO CAUSADO POR HUMEDAD

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E-725-07

ORDEN:	P025(31)-13	PROYECTO: IDU 039	
Referencia:	P024 Y P025 - 12_2_3_4_5_6_7.		
Muestra:	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II.	Fecha de recepción:	2013-08-19
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II (LTOA).	Fecha de ensayo:	2013-09-27

3. DETERMINACION DEL HINCHAMIENTO *GRUPO HÚMEDO*

Referencia	9	5	6
Peso del espécimen en agua después de someterlo a vacío (g)	683.4	686.6	687.1
Volumen del espécimen después de la saturación parcial (cm^3)	530.8	530.5	529.6
Hinchamiento (%)	0.8	0.5	0.3
Hinchamiento promedio después de la saturación parcial (%)	**0.6**		
Peso del espécimen en agua (g) (después de la inmersión a 25°C)	688.4	690.8	694.2
Volumen del espécimen después del acondicionamiento de humedad (cm^3)	528.3	528.7	529.0
Hinchamiento (después de la inmersión a 25°C) (%)	0.3	0.2	0.2
Hinchamiento promedio después del acondicionamiento de humedad (%)	**0.2**		

OBSERVACIONES: _____

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

Vo Bo D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

3/5

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-06

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIE SECA

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-06 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 733-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13 (31)	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	024 Y 025-12_2_3_4_5_6_7.	Fecha recepción:	2013-08-19
Descripción:	Briquetas Tipo marshall - MD 12 Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II (LTOA).	Fecha de ensayo:	2013-09-18

Tipo de Mezcla: MD 12 Ligante asfáltico Cariphalt Lt tipo II — Método Utilizado: A

Briqueta No			5	6	7	----	----
Temperatura del agua		°C	21	21.2	21.2	----	----
Temperatura ambiente		°C	23	22.9	22.9	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1192.9	1190.9	1185.9	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1195.7	1194.8	1189.9	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	667.8	667	667.5	----	----
Constante de corrección k			1.000950	1.000950	1.000950	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2.261 ± 0.018*	2.258 ± 0.018*	2.272 ± 0.018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2254.6 ± 18.9*	2251.2 ± 18.9*	2264.9 ± 19.0*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.530 ± 0.117*	0.739 ± 0.163*	0.766 ± 0.169*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

Tipo de Mezcla: ---- Método Utilizado: ---

Briqueta No			8	9	10	----	----
Temperatura del agua		°C	21.2	21.2	21.2	----	----
Temperatura ambiente		°C	22.9	22.9	22.9	----	----
Peso del especimen seco al aire	(A)	g	1184.8	1189.5	1188.8	----	----
Peso del especimen S.S.S.	(B)	g	1188.0	1193.2	1192.1	----	----
Peso del especimen en Agua	(C)	g	663.1	666.7	666.6	----	----
Constante de corrección k			1.00095	1.00095	1.00095	----	----
Gravedad especifica bulk $_{25ºC}$			2.259 ± 0.018*	2.261 ± 0.018*	2.264 ± 0.018*	---- ± *	---- ± *
Densidad $_{25ºC}$		kg/m^3	2252.0 ± 18.9*	2254.1 ± 18.9*	2257.1 ± 18.9*	---- ± *	---- ± *
Agua absorbida por volumen		%	0.610 ± 0.269*	0.703 ± 0.311*	0.628 ± 0.278*	---- ± *	---- ± *

OBSERVACIONES: _____

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LA LABORATORIO

Vo Bo D. R.
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF2-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-02 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 736-07

CÓDIGO ORDEN: P025 (31)-13	PROYECTO: IDU 039
Referencia: P024 Y P025 - 12_2_3_4_5_6_7.	Fecha de ensayo: 2013-09-27
Descripción: Briquetas Tipo marshall	Fecha de recepción: 2013-08-19

Referencia	5	6	7
Gravedad específica bulk	2.261	2.258	2.272
Gravedad específica máxima teórica	2.416	2.416	2.416
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.4%	6.5%	6.0%

OBSERVACIONES: _____

Referencia	8	9	10
Gravedad específica bulk	2.259	2.261	2.264
Gravedad específica máxima teórica	2.416	2.416	2.416
Porcentaje de Vacios de aire (%)	6.5%	6.4%	6.3%

OBSERVACIONES: _____

$$\%Vacios = \left[1 - \frac{Gravedad\_especifica\_bulk}{Gravedad\_especifica\_máxima\_teórica}\right] x100$$

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: CORDINADOR DE LABORATORIO

V°B° D.R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

5/5

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF3-08

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5255

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA PISTA DE ENSAYO DE LABORATORIO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INVE 756-07

CODIGO ORDEN:	**P025-13(32)**	**PROYECTO:**	**IDU 038**

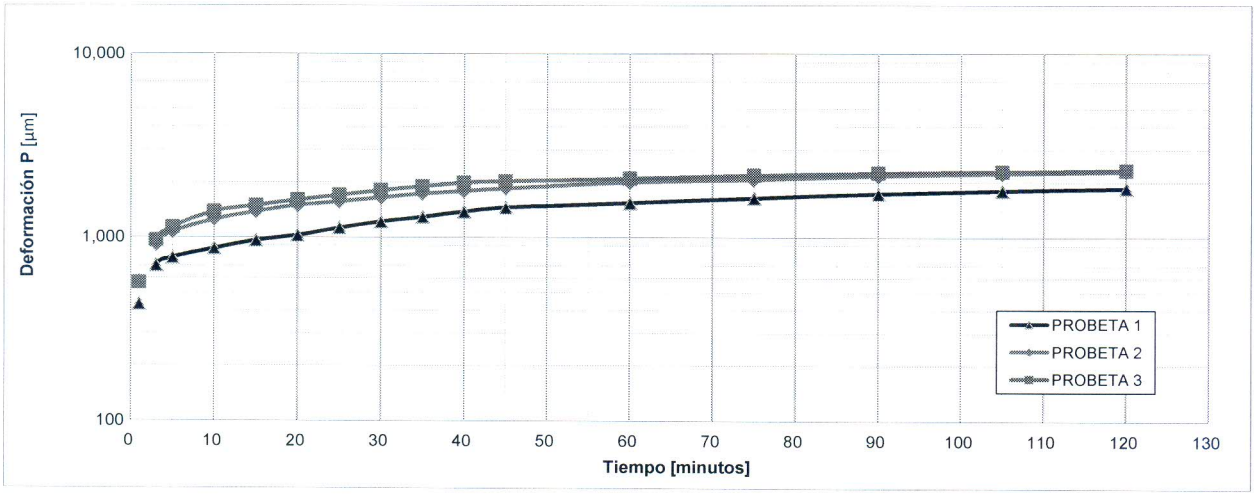
Referencia: P024-P025-12_2_3_4_5_6_7
Muestra: Mezcla asfáltica MD-12 Asfálto Cariphalt LT Tipo II (STOA)
Descripción: Panela de mezcla asfáltica.

Fecha Recepción: 2013-08-19
Fecha de Ensayo: 2013-10-03

I. DATOS DE ENSAYO

Temperatura de ensayo:	(°C)	60
Presión de contacto	(kN/m^2)	900

II. RESULTADOS - GRAFICA DEFORMACIÓN VS TIEMPO



II. RESULTADOS

		Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Deformación total al final del ensayo	(µm)	1856.7	2290.0	2323.3
Velocidad en el intervalo 30 a 45 minutos, V30/45	(µm)/ min	16	13	16
Velocidad en el intervalo de 75 a 90 minutos, V75/90	(µm)/ min	6	7	6
Velocidad en el intervalo de 105 a 120 minutos, V105/120	(µm)/ min	4	4	2

OBSERVACIONES

JEISSON DUBIER HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

3/3

LABORATORIO DE
PRUEBAS Y ENSAYOS

FORMATO AF3-08

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5255

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA PISTA DE ENSAYO DE LABORATORIO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INVE 756-07

CODIGO ORDEN: P025-13(31) **PROYECTO:** IDU 039

Referencia: P024-P025-12_2_3_4_5_6_7 **Fecha Recepción:** 2013-08-19

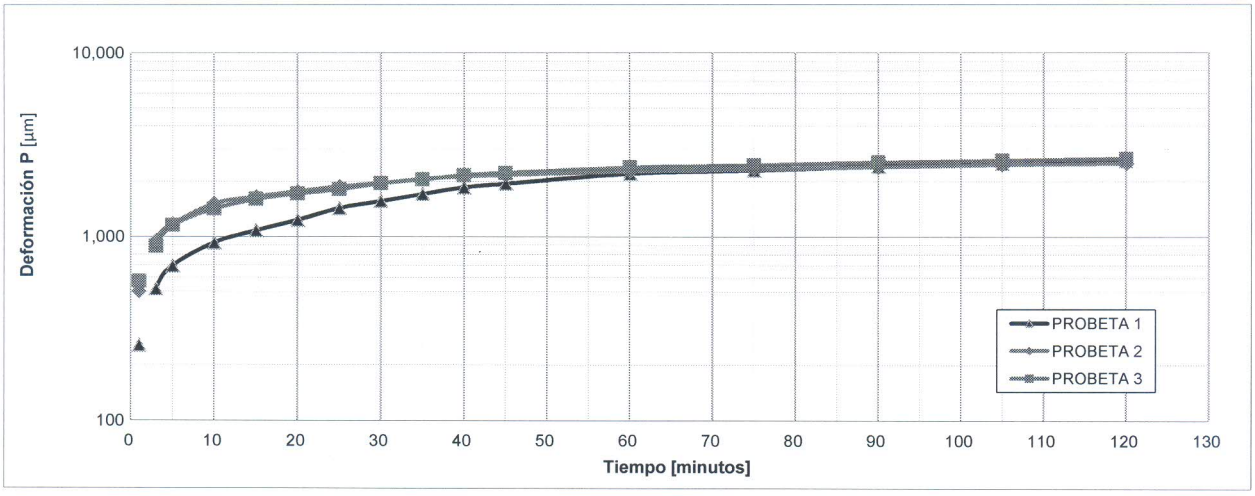
Muestra: Mezcla asfáltica MD-12 Asfálto Cariphalt LT Tipo II (LTOA) **Fecha de Ensayo:** 2013-10-04

Descripción: Panela de mezcla asfáltica.

I. DATOS DE ENSAYO

Temperatura de ensayo:	(°C)	60
Presión de contacto	(kN/m^2)	900

II. RESULTADOS - GRAFICA DEFORMACIÓN VS TIEMPO



II. RESULTADOS

		Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Deformación total al final del ensayo	(µm)	2583.3	2503.3	2656.7
Velocidad en el intervalo 30 a 45 minutos, V30/45	(µm)/ min	25	14	21
Velocidad en el intervalo de 75 a 90 minutos, V75/90	(µm)/ min	7	5	5
Velocidad en el intervalo de 105 a 120 minutos, V105/120	(µm)/ min	6	3	4

OBSERVACIONES

JEISSON DUBIER HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

LABORATORIO
DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO AF2-03

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
Cra 7 No. 40-62 - Edificio José Gabriel Maldonado S.J. Bogotá
Tel.:(57-1) 3208320 Ext. 5268/69 Fax: Ext. 5373

EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO EN MEZCLAS EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF2-03

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E732-07

CÓDIGO ORDEN:	P025-13(39)	**PROYECTO:**	IDU 039
Referencia:	P025-12_2_3_4_5_6_7.	Fecha Recepción:	2013-08-23
Descripción:	Briqueta tipo Marshall MD-12, con cemento asfaltico modificado para mezclas tibias con Rediset envejecido en LTOA	Fecha de Ensayo:	2013-11-25

Referencia	P025-12	P025-12	--
Localización	--	--	--
Apique	--	--	--
Muestra	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con Rediset.	Grava 1" y 1/2" (Rio Coello) , Arena triturada y natural (Rio Coello),Arena de peña (Ingescol Soacha),Grava 3/4" (Peña planta TS Melgar),ligante asfaltico modificado para mezclas tibias con Rediset	--
Masa porción ensayo, W1 (g)	1540.9	1545.7	--
Masa del agregado mineral extraido, W3 (g)	1455	1459.9	--
Peso material mineral en el volumen total del extracto, W4 (g)	2.185	2.656	--
Peso inicial filtro, Pf_i (g)	14.86	14.636	--
Peso final filtro, Pf_f (g)	16.412	16.384	--
Contenido de asfalto (%)	***5.43*** ± ***0.06***	***5.38*** ± ***0.06*** *	± *

OBSERVACIONES:

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95% y un factor de expansiòn k=2.

JEISSON HURTADO
CALCULÓ: COORDINADOR DE LABORATORIO

PP/ DANIEL M R
DANIEL MAURICIO RUIZ
REVISÓ: ING. DE LABORATORIO

ANEXO J. Información simulaciones de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la subbase granular, para 82 kN y 5 Hz.

Figura J 1. Información alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

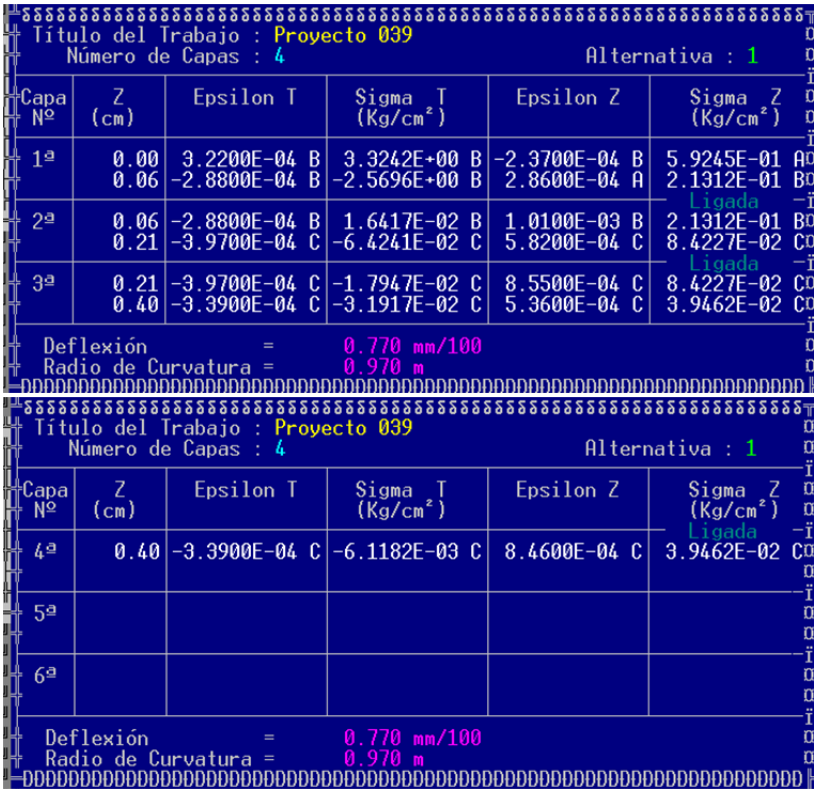


Figura J 2. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

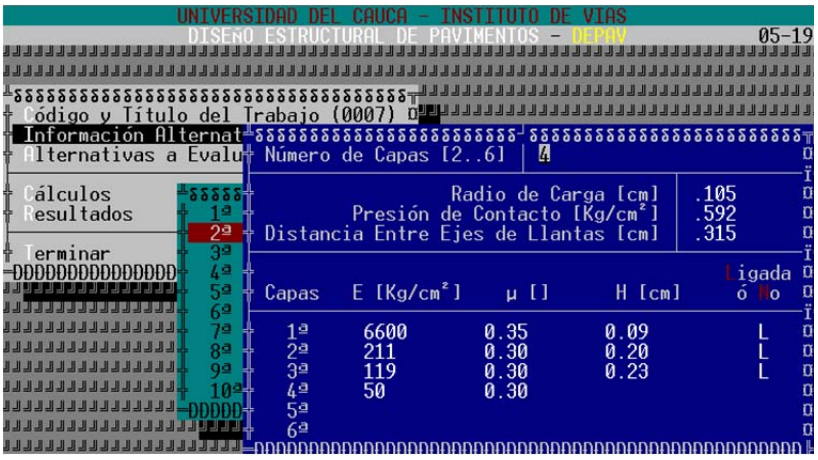


Figura J 3. Información alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

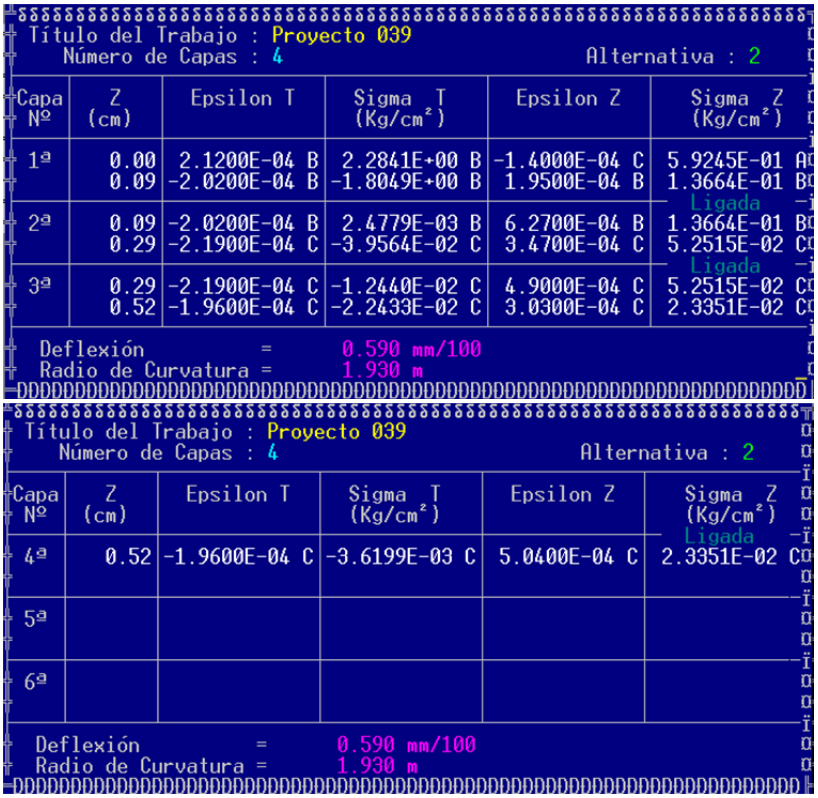


Figura J 4. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

Figura J 5. Información alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

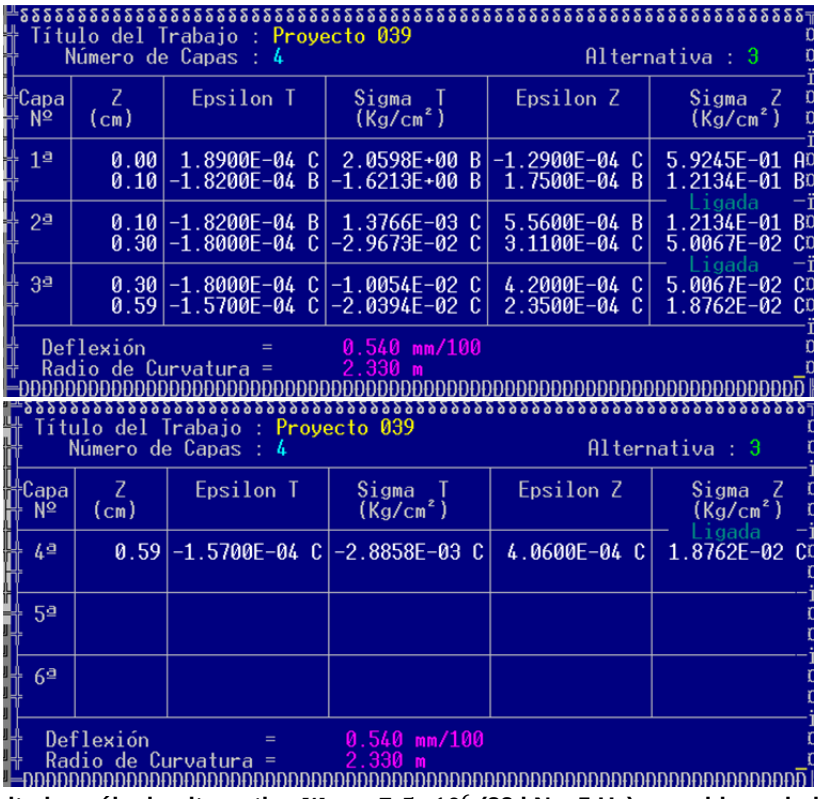


Figura J 6. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

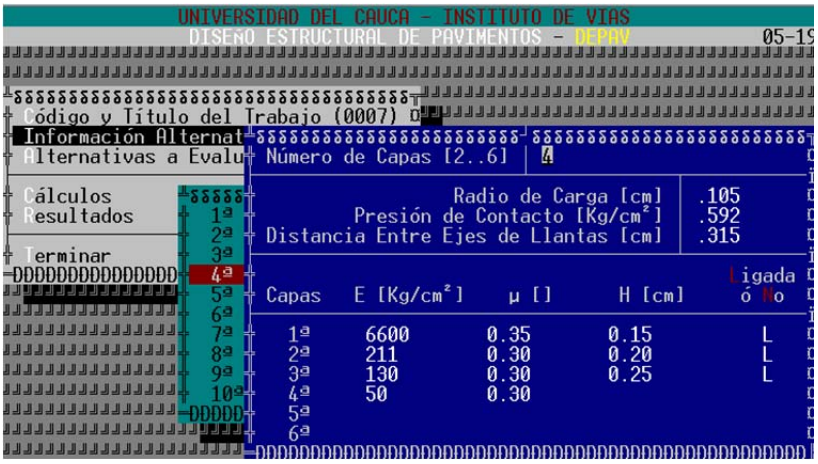


Figura J 7. Información alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

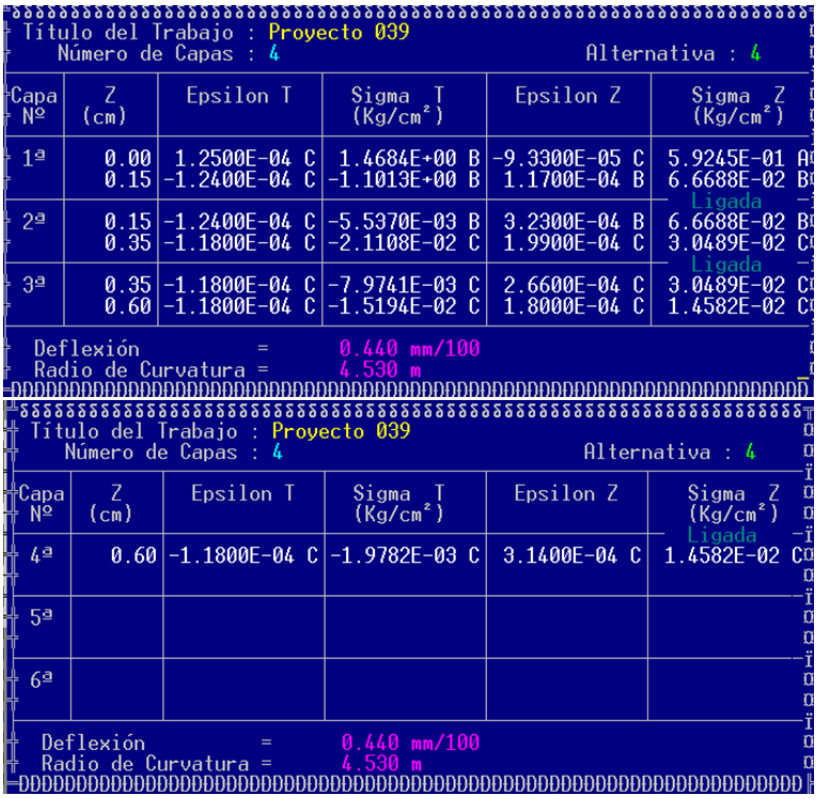


Figura J 8. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

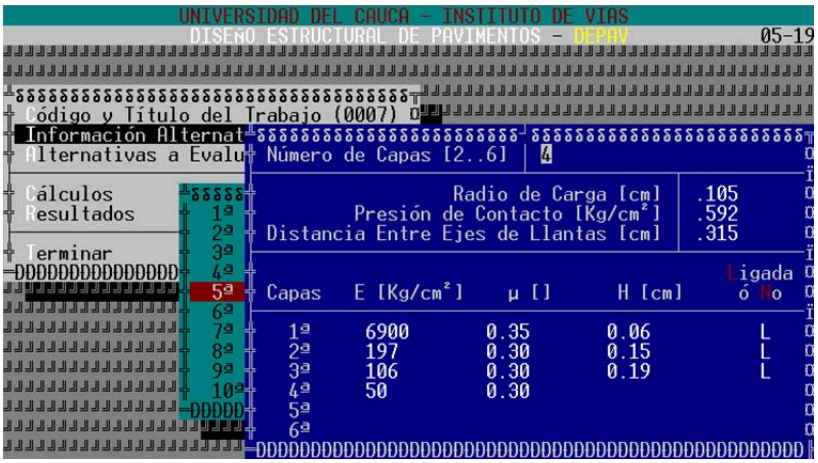


Figura J 9. Información alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

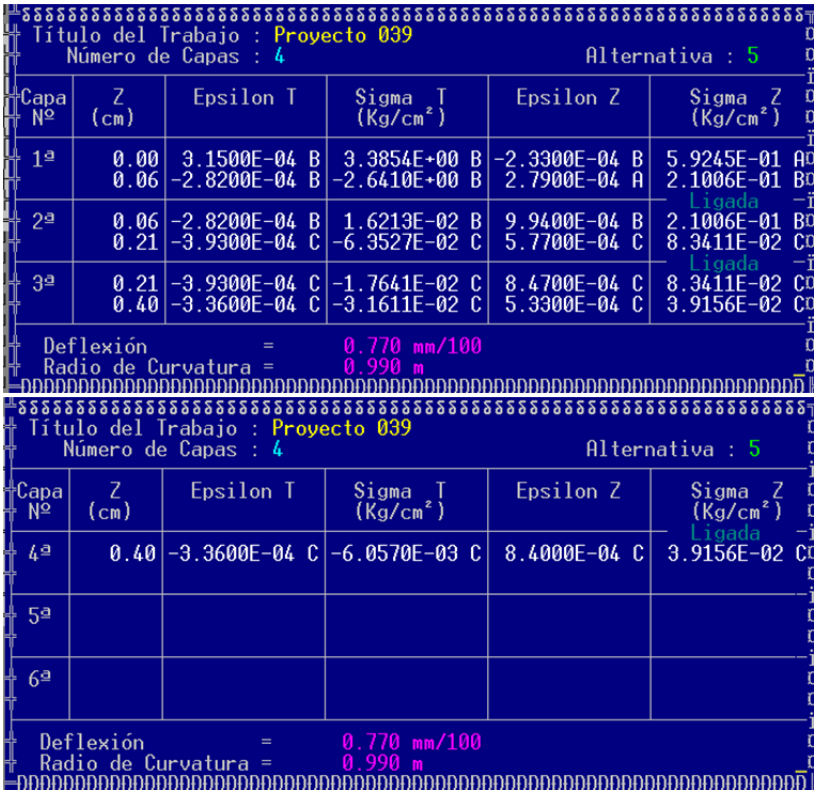


Figura J 10. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

Figura J 11. Información alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

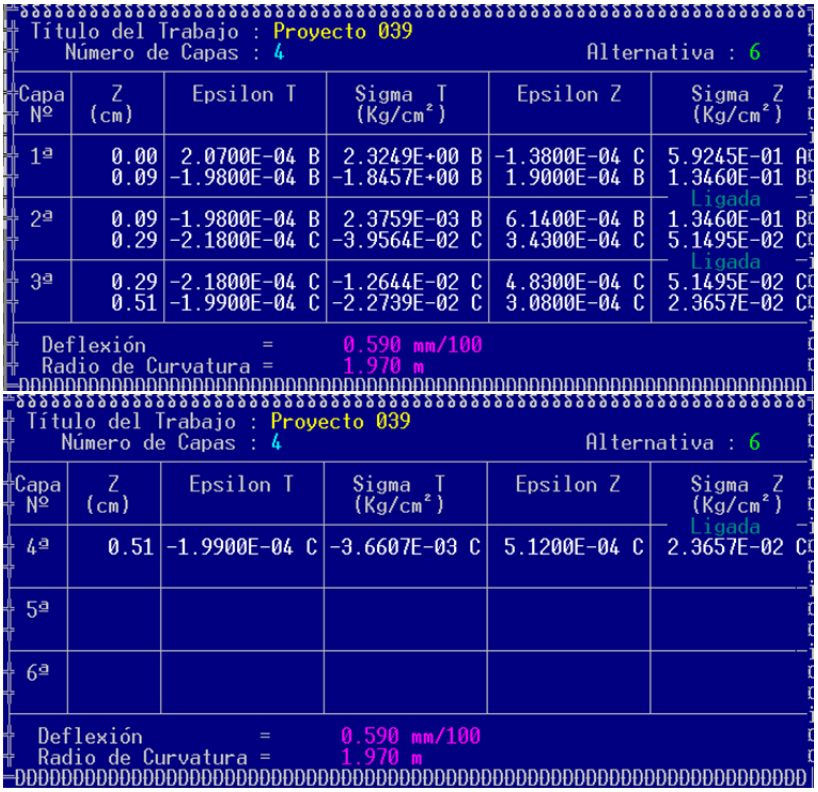


Figura J 12. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

Figura J 13. Información alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

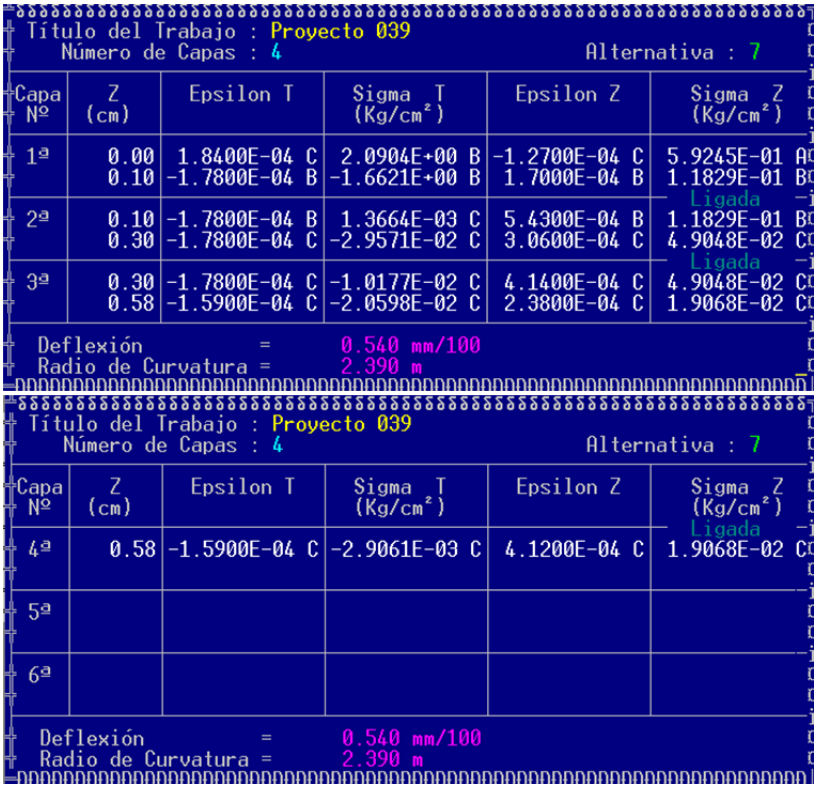


Figura J 14. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

Figura J 15. Información alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

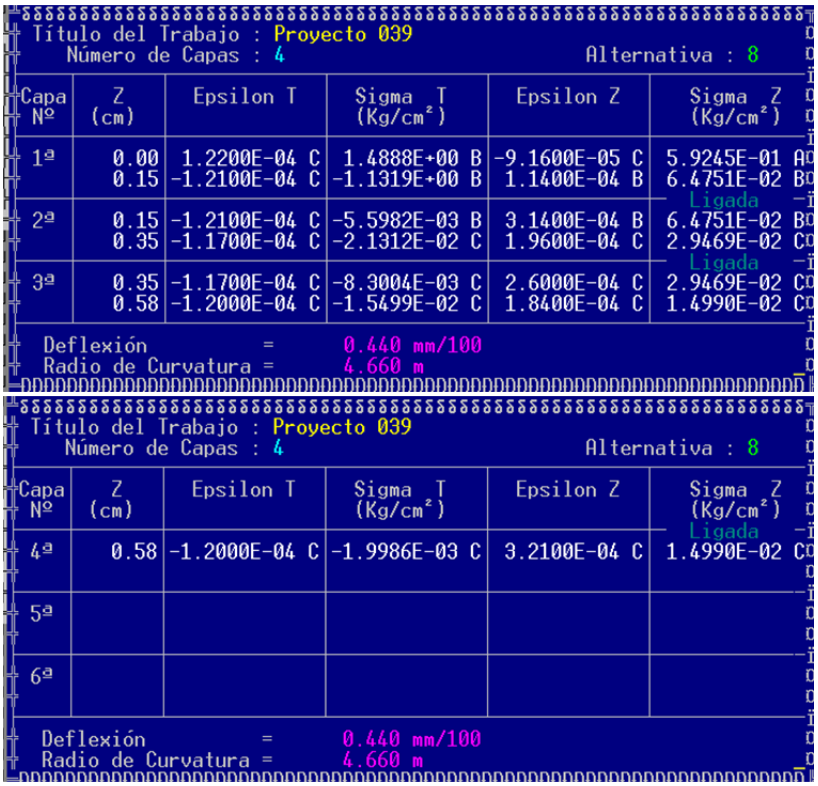


Figura J 16. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

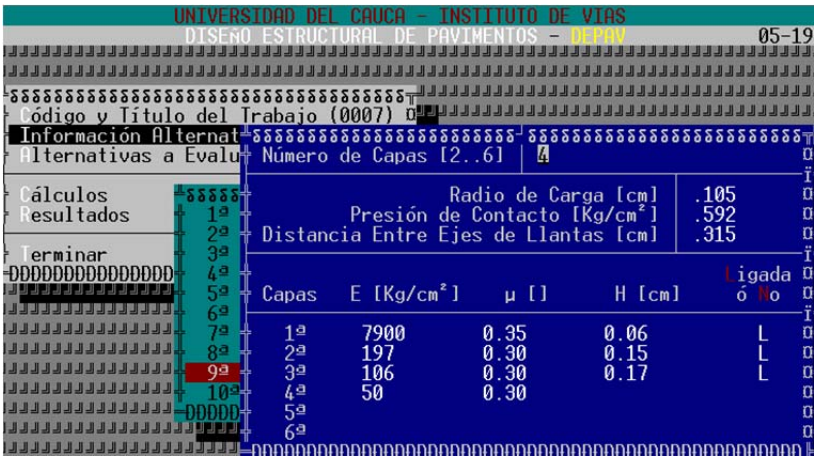


Figura J 17. Información alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

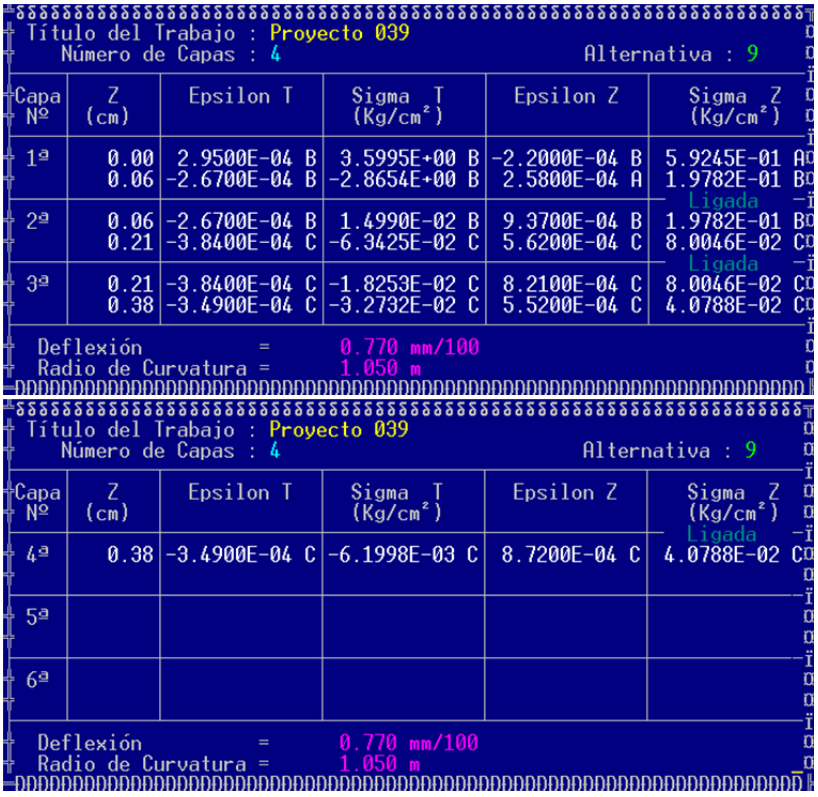


Figura J 18. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

Figura J 19. Información alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

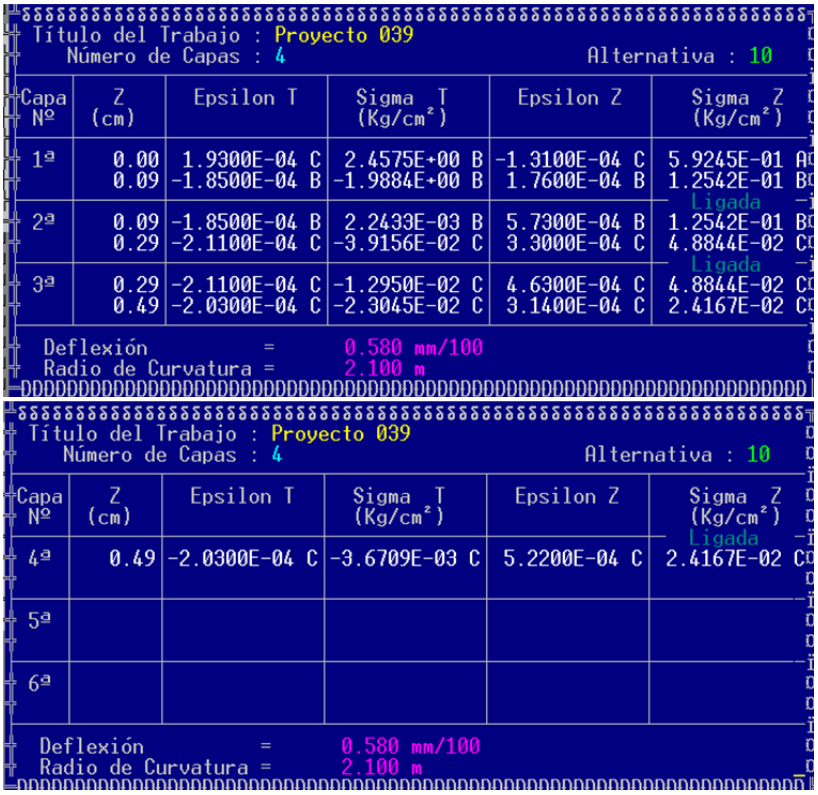


Figura J 20. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

Figura J 21. Información alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

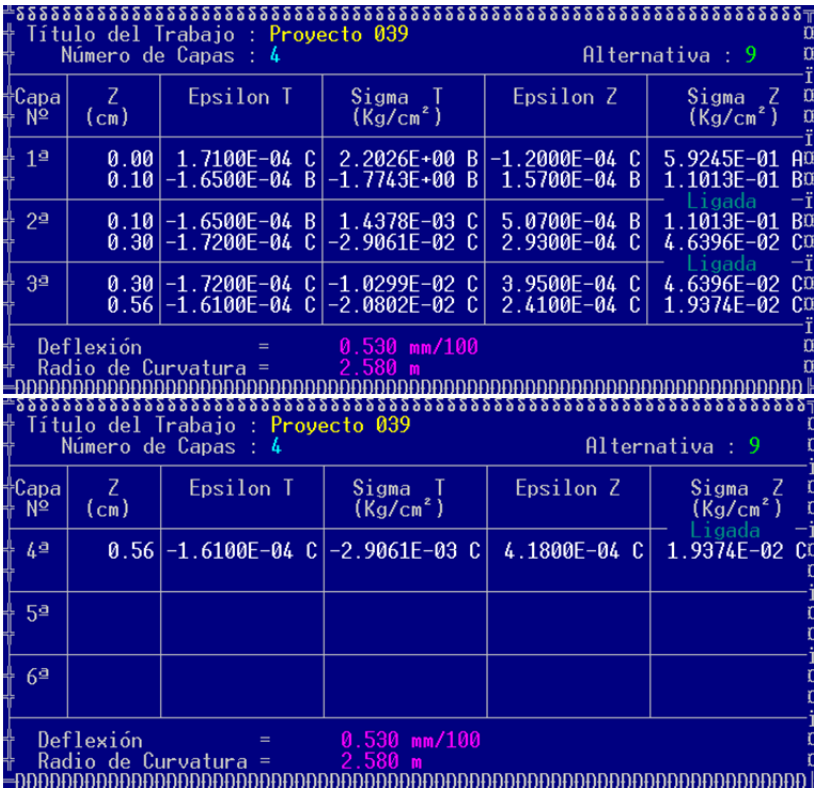


Figura J 22. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

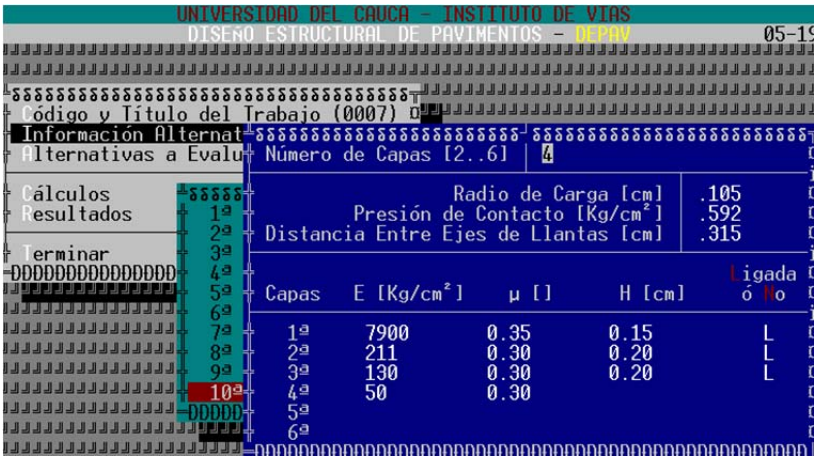


Figura J 23. Información alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular

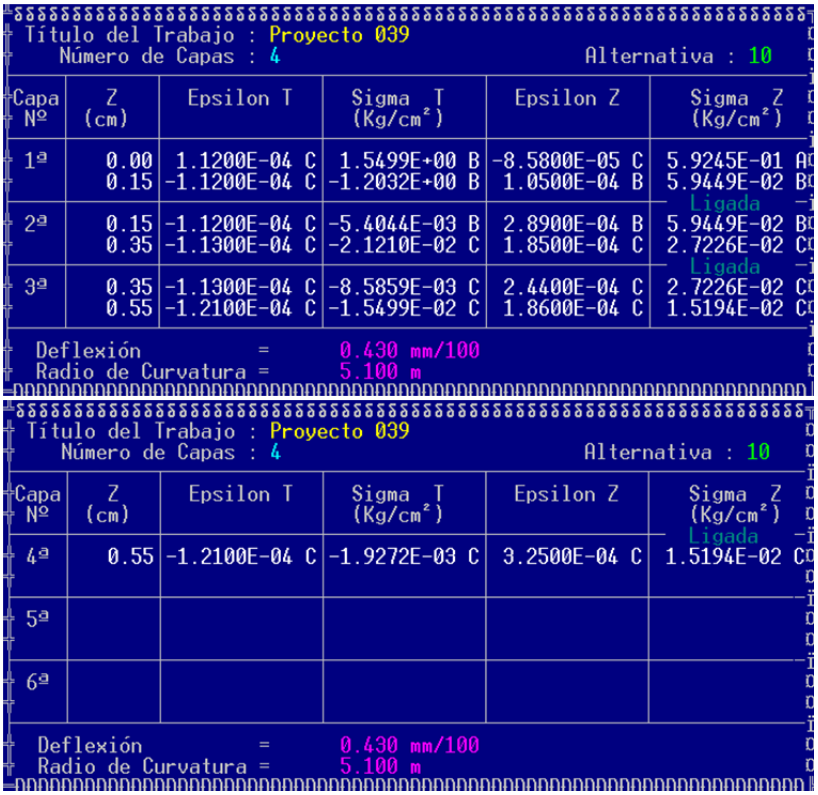


Figura J 24. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

ANEXO K. Información simulaciones de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la subbase granular, para 130 kN y 5 Hz.

Figura K 1. Información alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

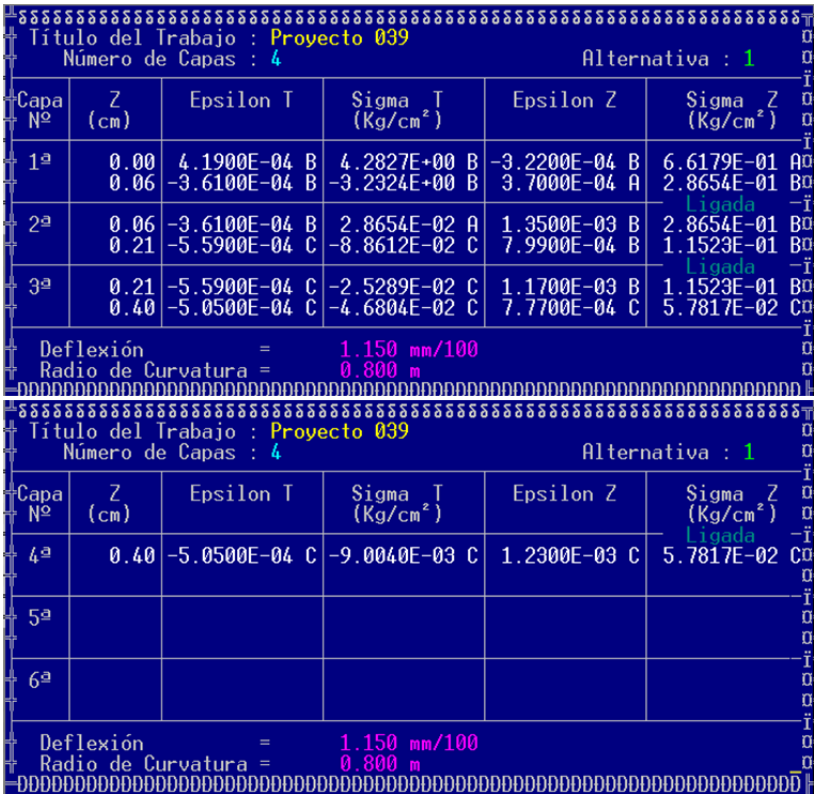


Figura K 2. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

Figura K 3. Información alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

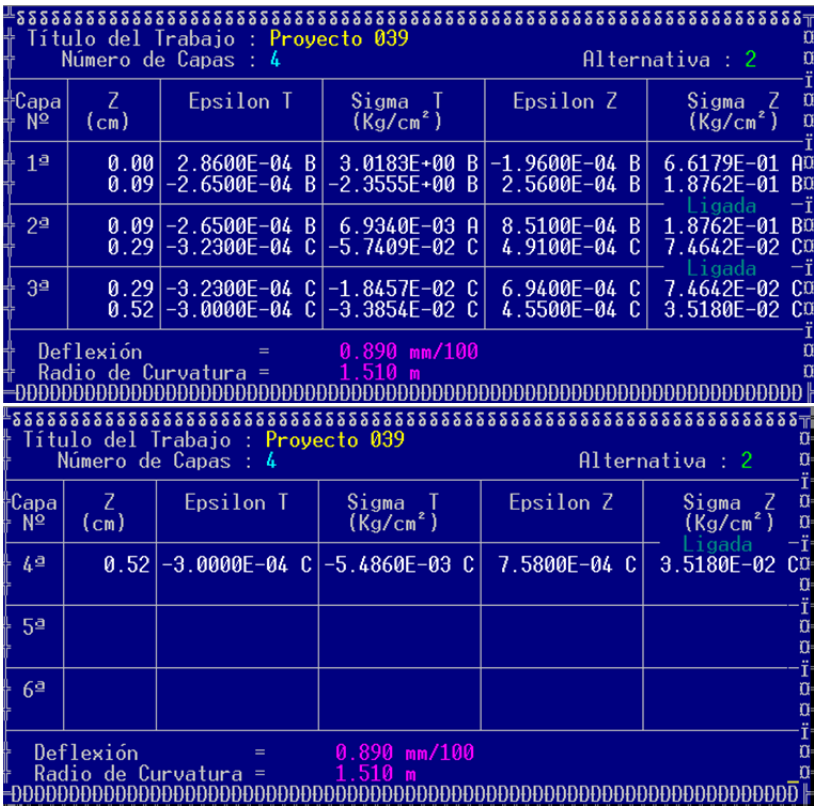


Figura K 4. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

Figura K 5. Información alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

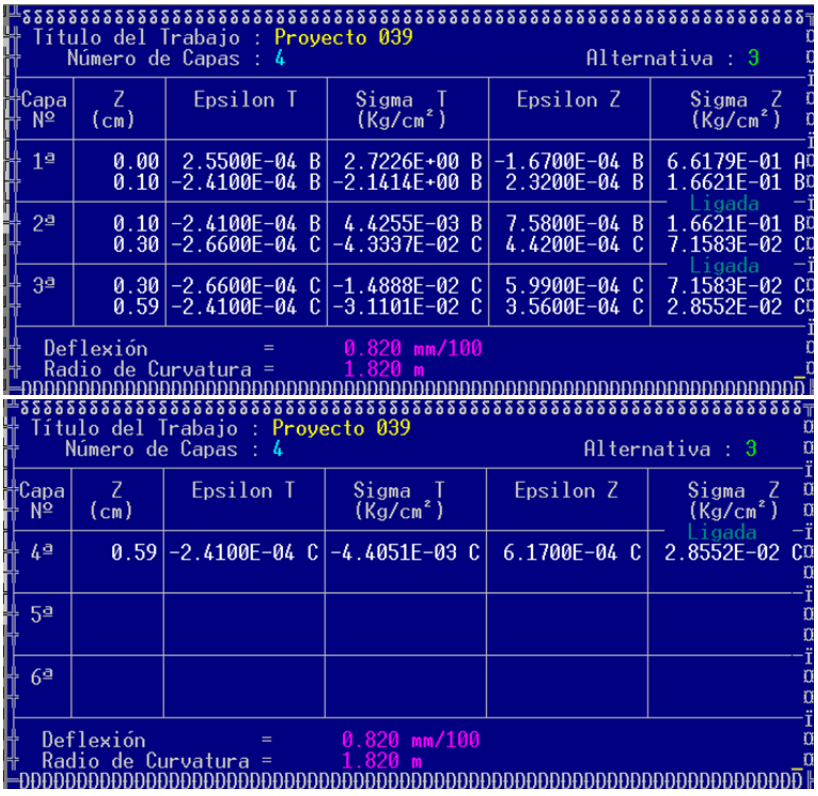


Figura K 6. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

Figura K 7. Información alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

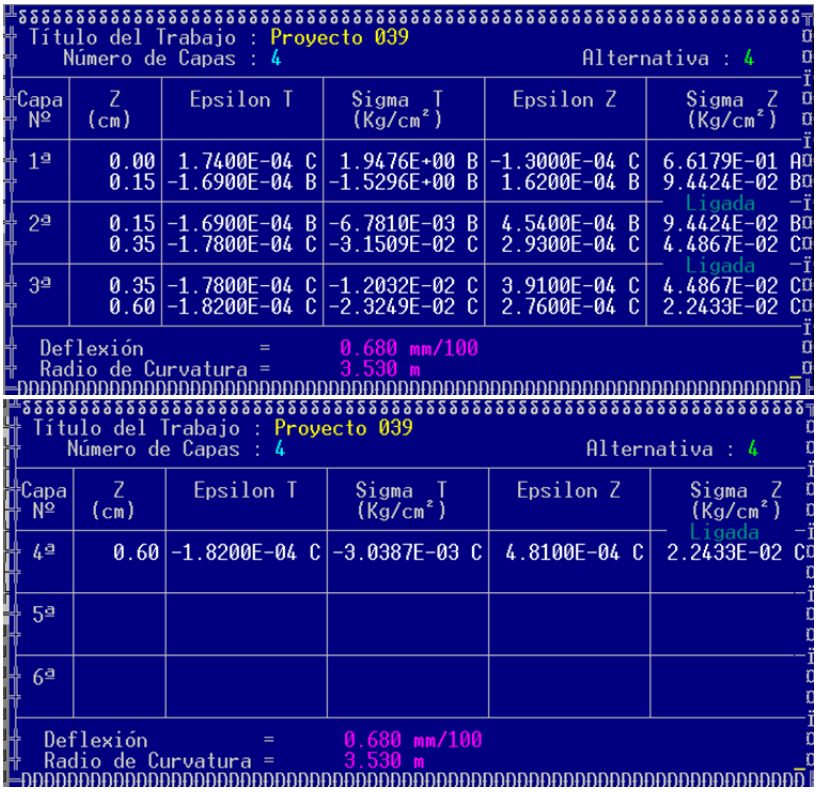


Figura K 8. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la subbase granular.

Figura K 9. Información alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

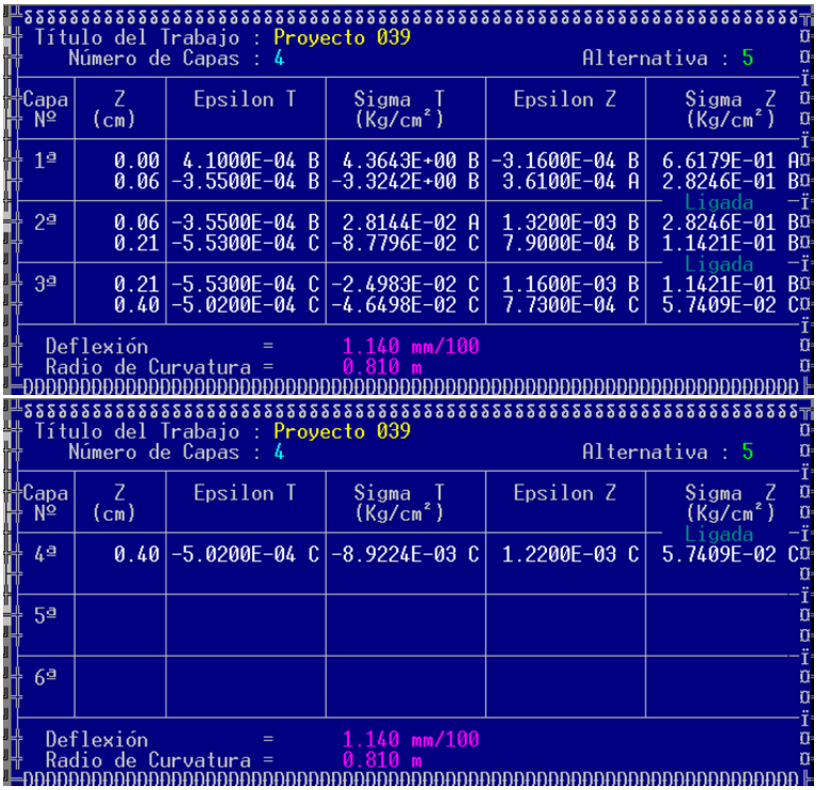


Figura K 10. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

Figura K 11. Información alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

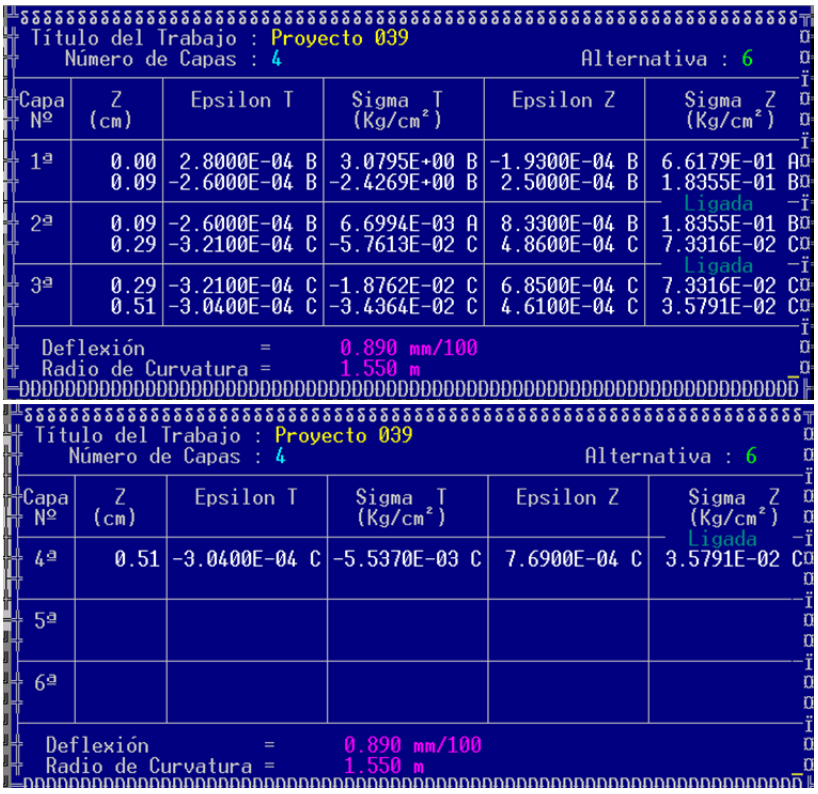


Figura K 12. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

Figura K 13. Información alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

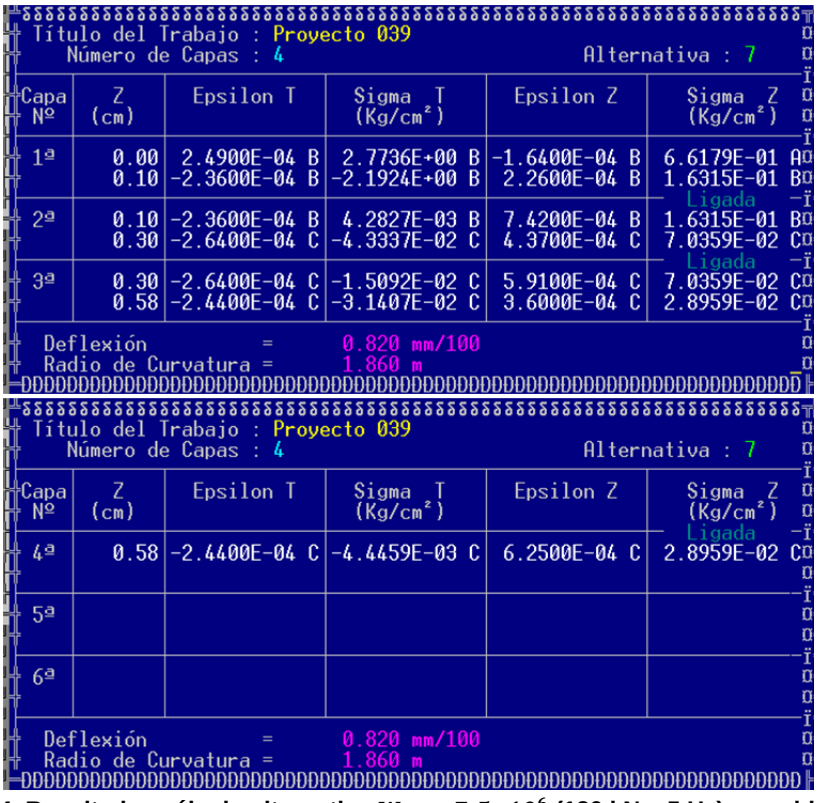


Figura K 14. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

Figura K 15. Información alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

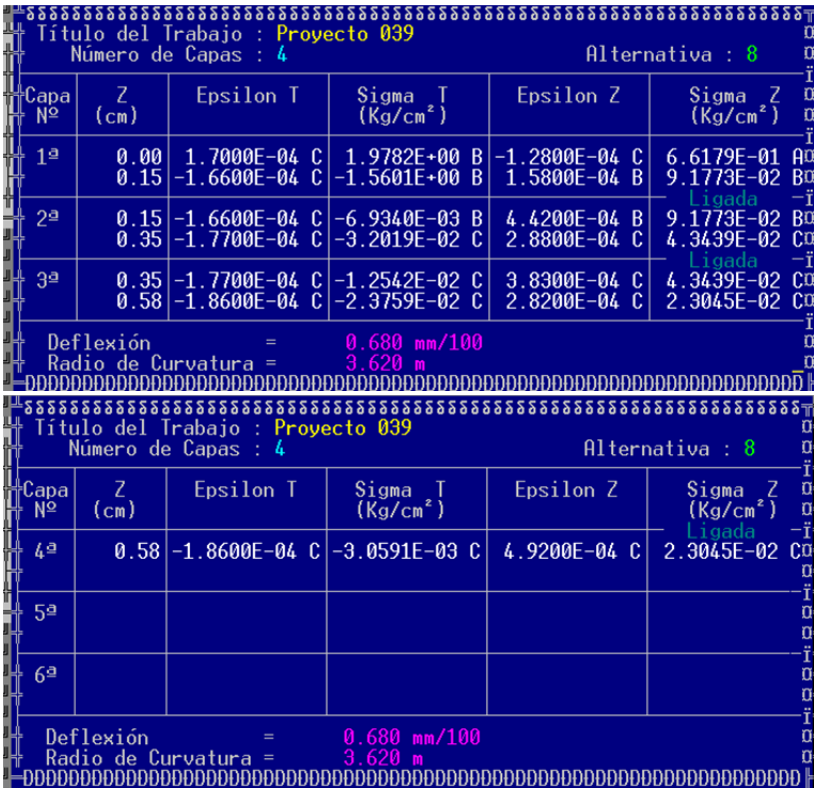


Figura K 16. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la subbase granular.

Figura K 17. Información alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

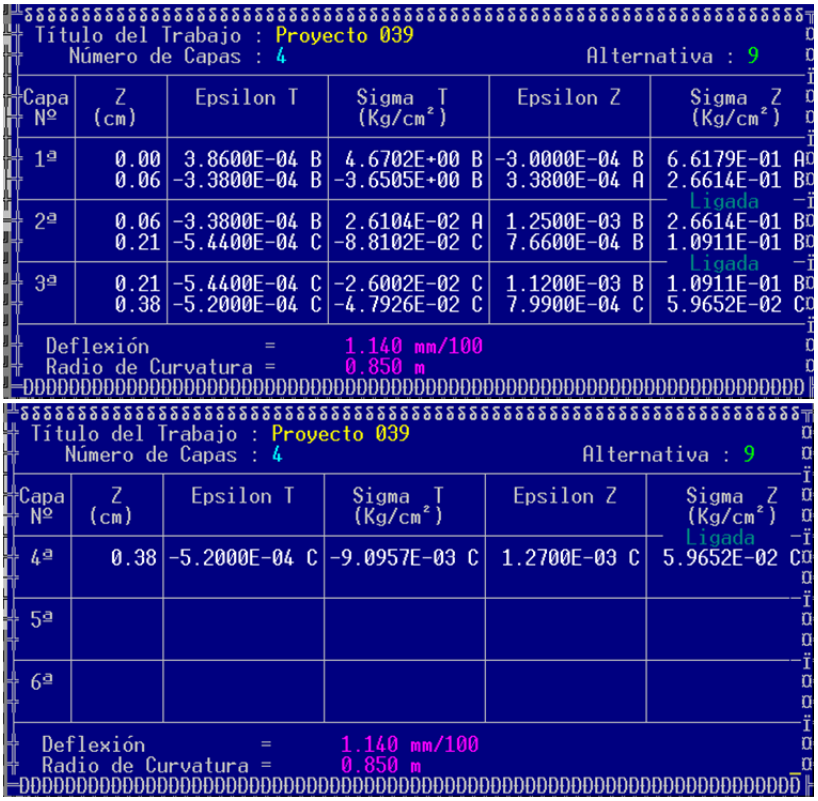


Figura K 18. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

Figura K 19. Información alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

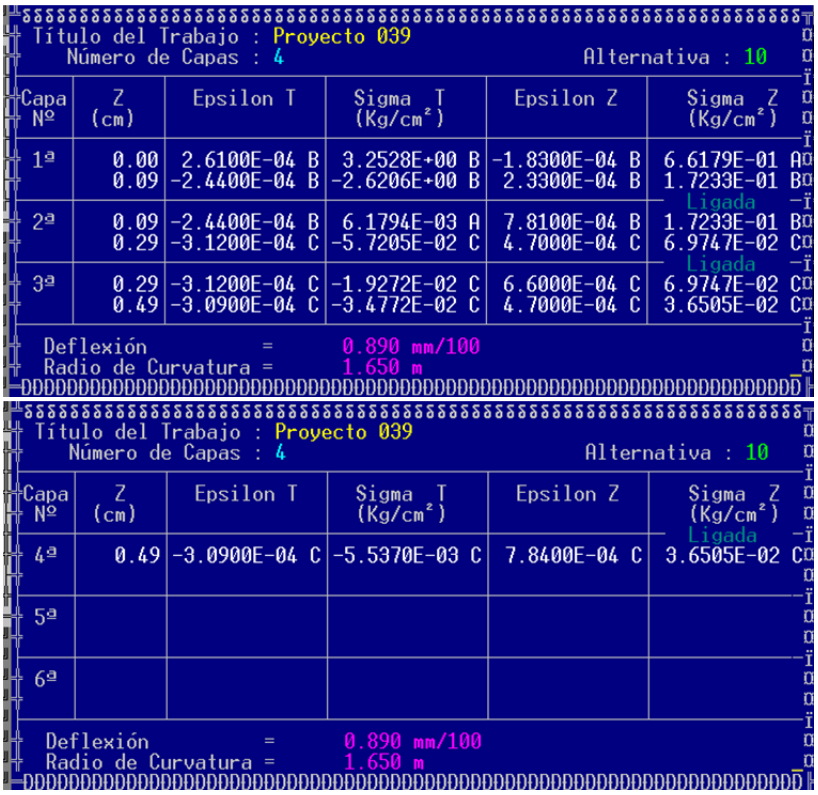


Figura K 20. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

Figura K 21. Información alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

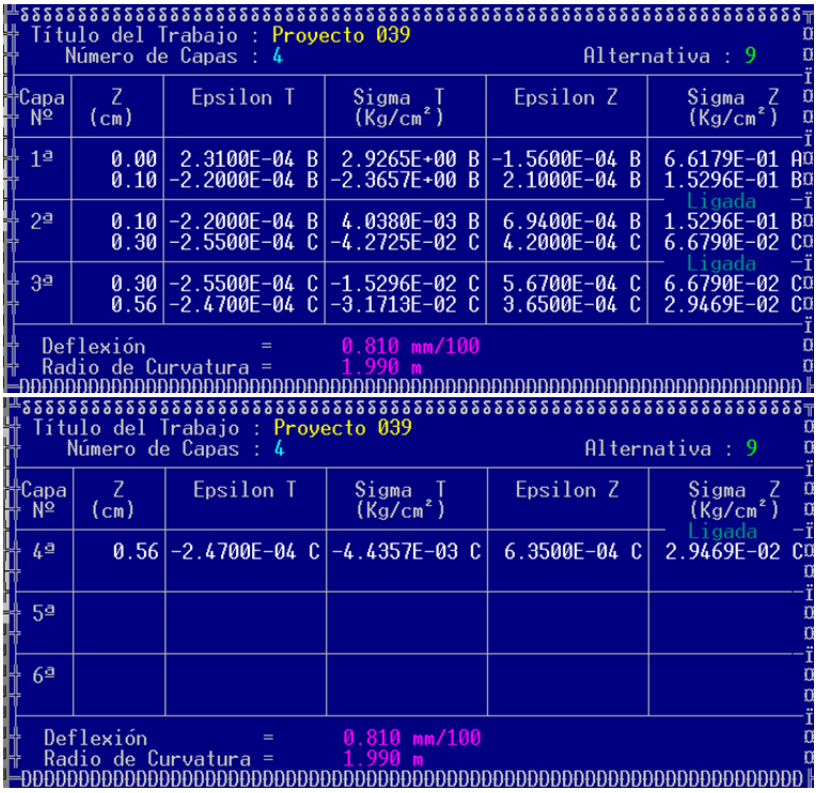


Figura K 22. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

Figura K 23. Información alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

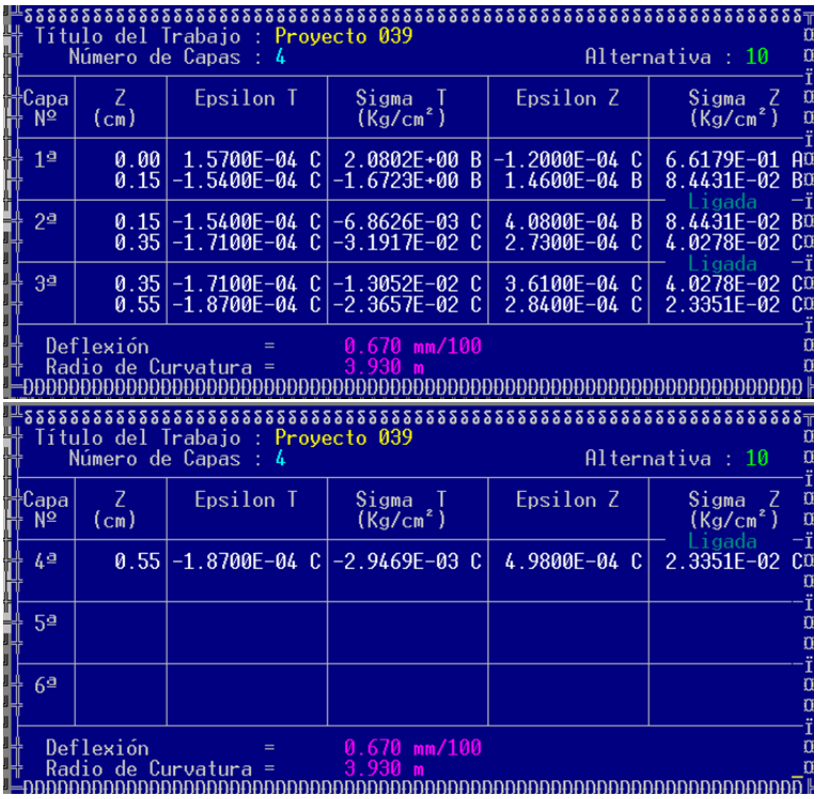


Figura K 24. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la subbase granular.

ANEXO L. Información simulaciones de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la capa asfáltica, para 82 kN y 5 Hz.

Figura L 1. Información alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

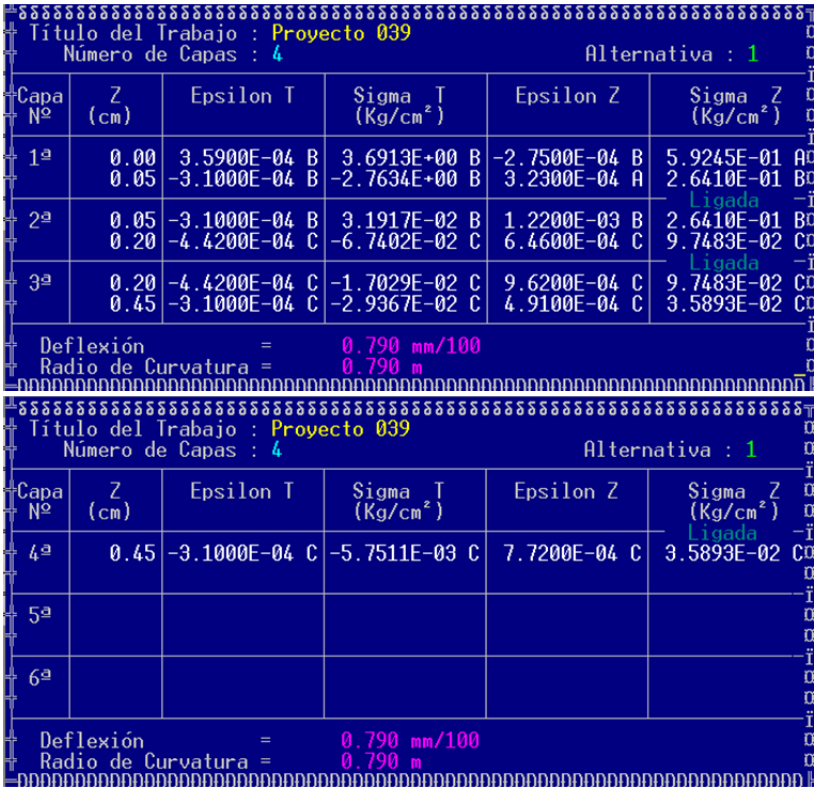


Figura L 2. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura L 3. Información alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

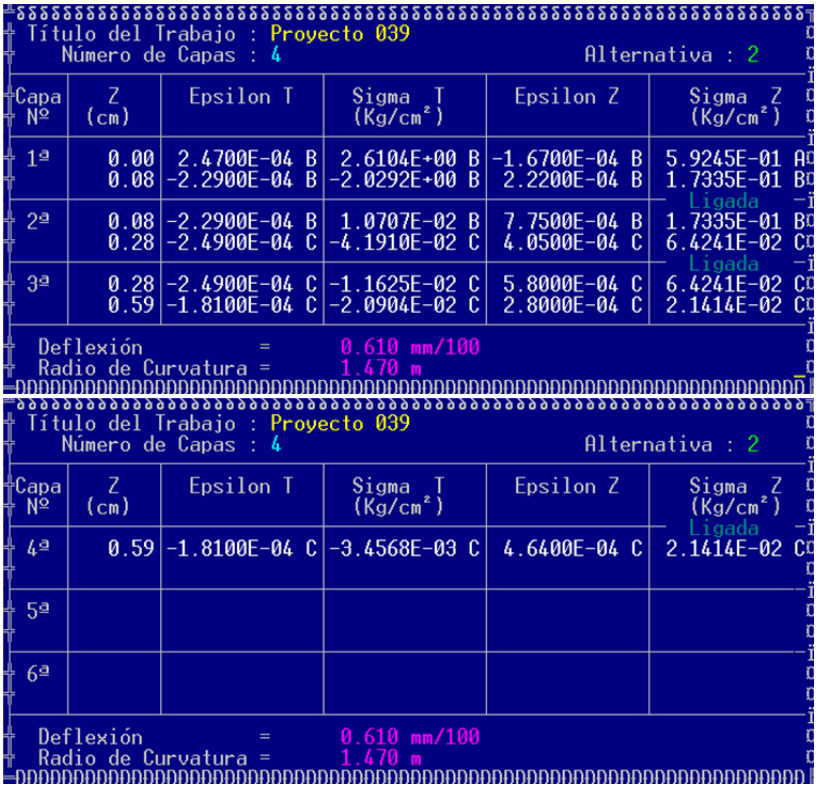


Figura L 4. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

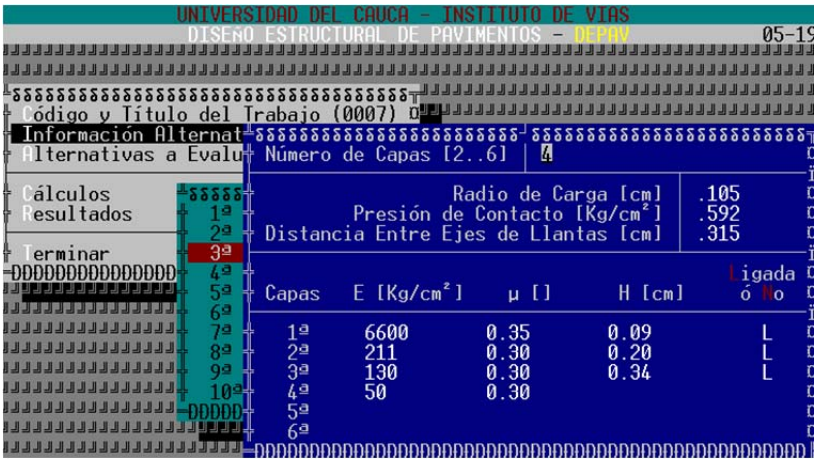


Figura L 5. Información alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

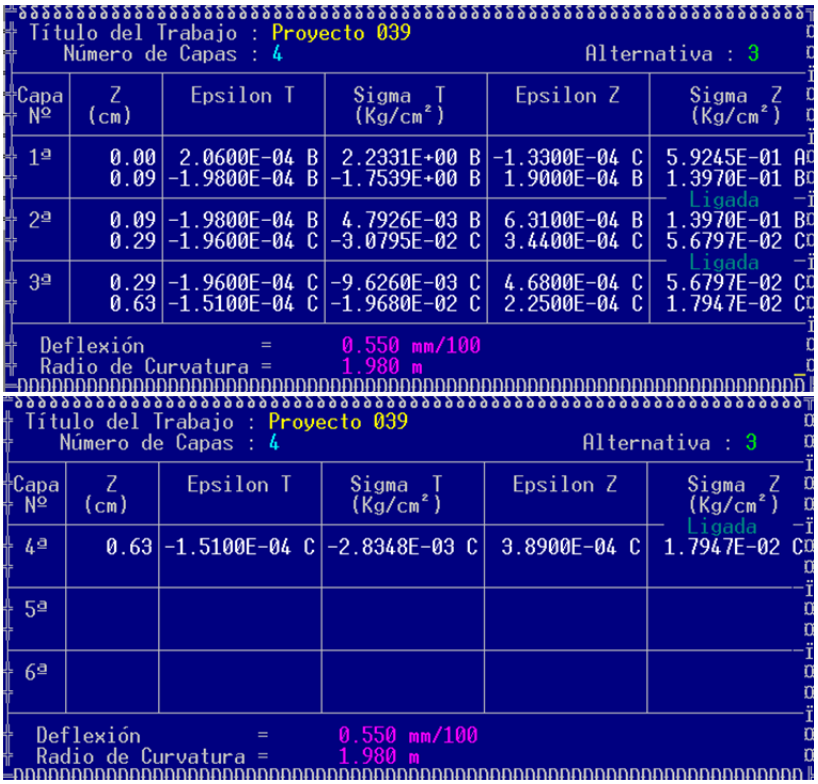


Figura L 6. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura L 7. Información alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

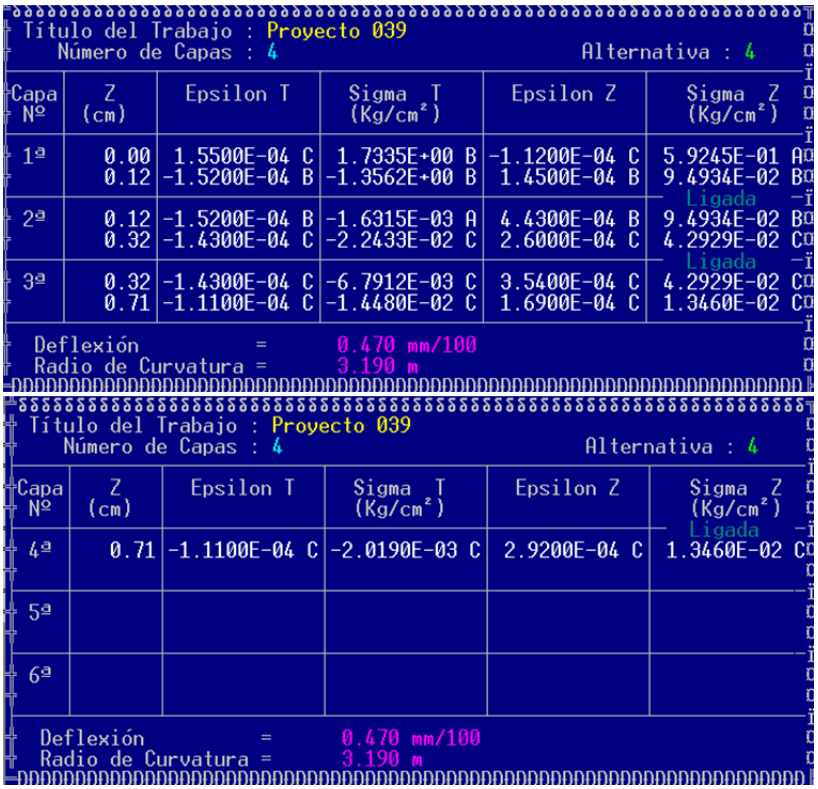


Figura L 8. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura L 9. Información alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

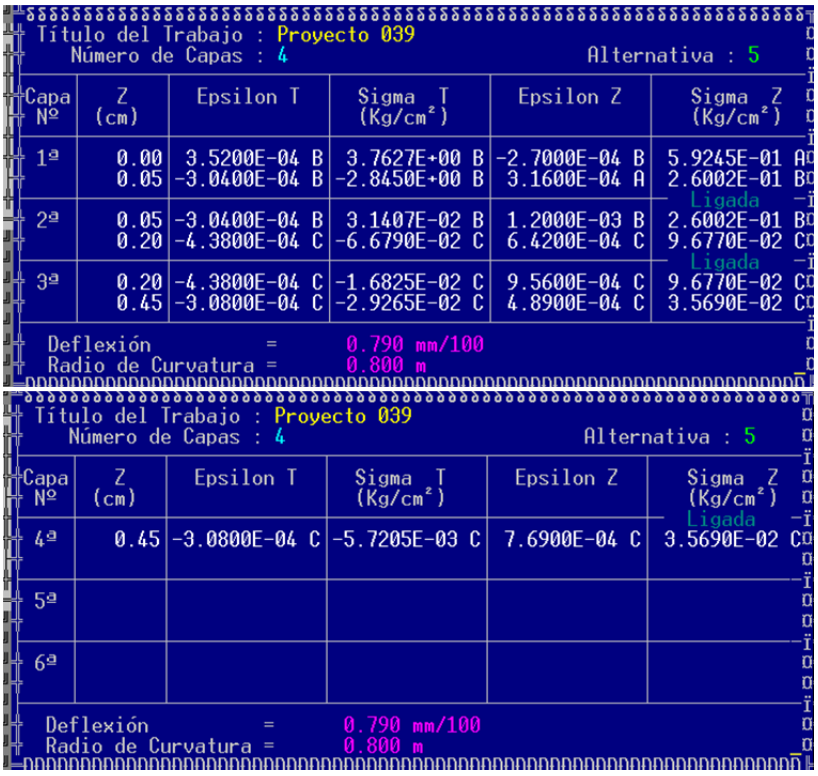


Figura L 10. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

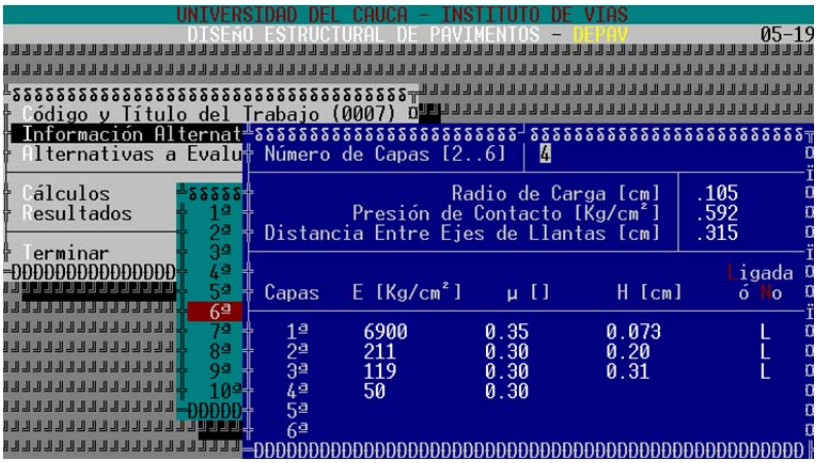


Figura L 11. Información alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

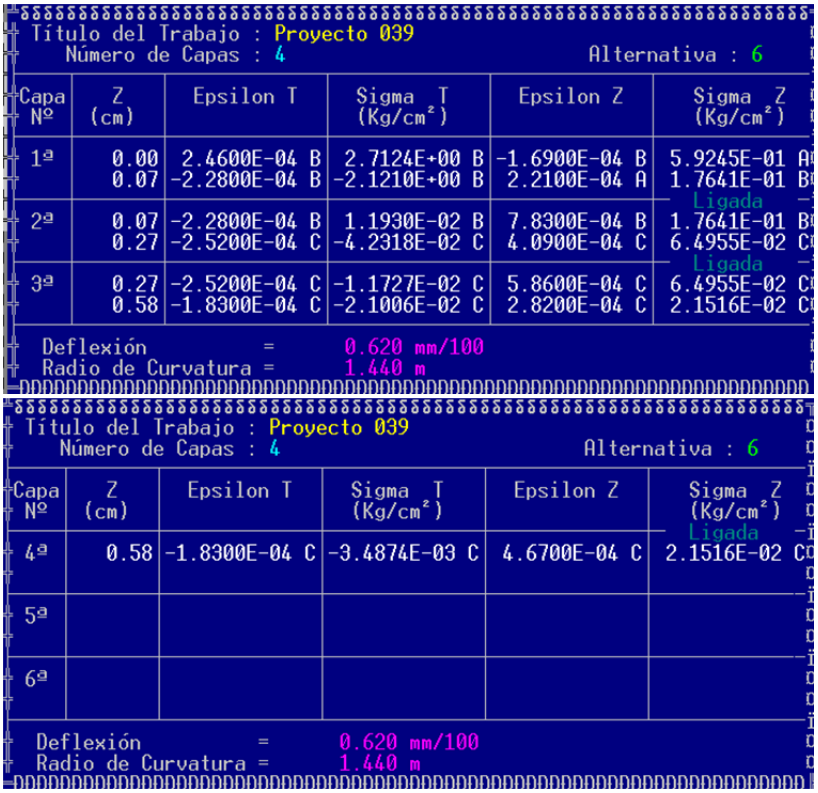


Figura L 12. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

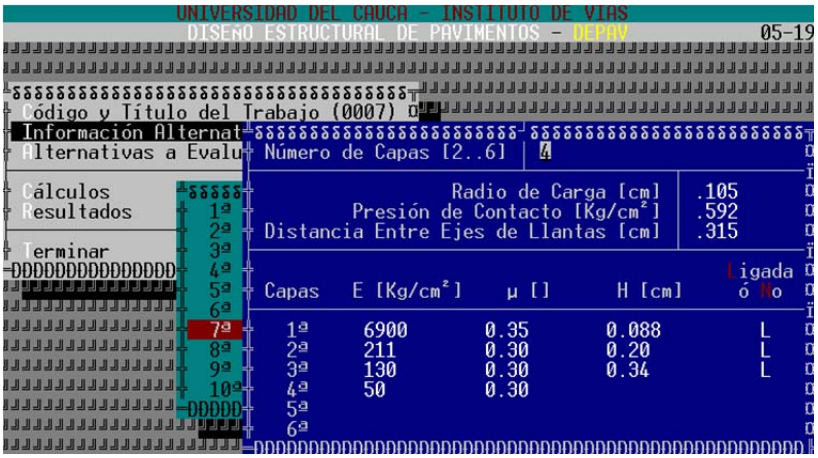


Figura L 13. Información alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

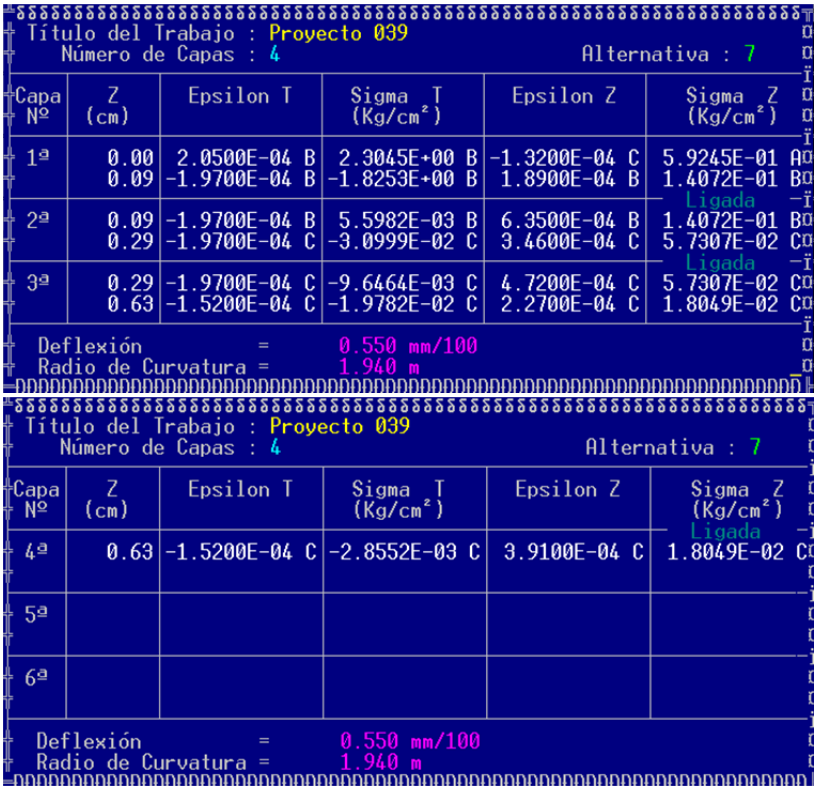


Figura L 14. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura L 15. Información alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

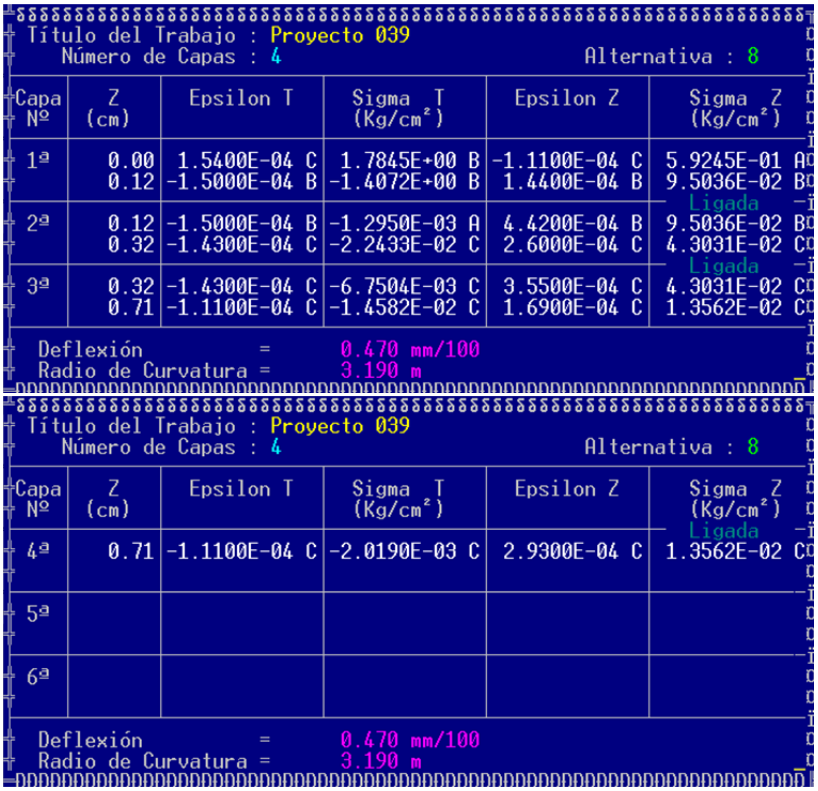


Figura L 16. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

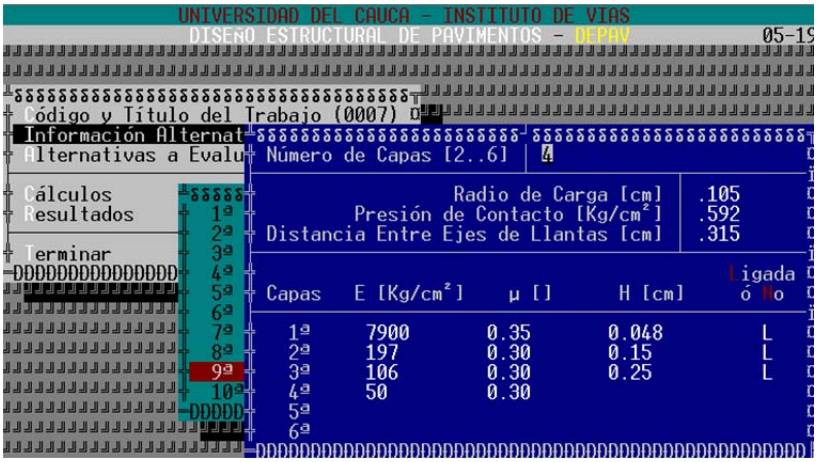


Figura L 17. Información alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

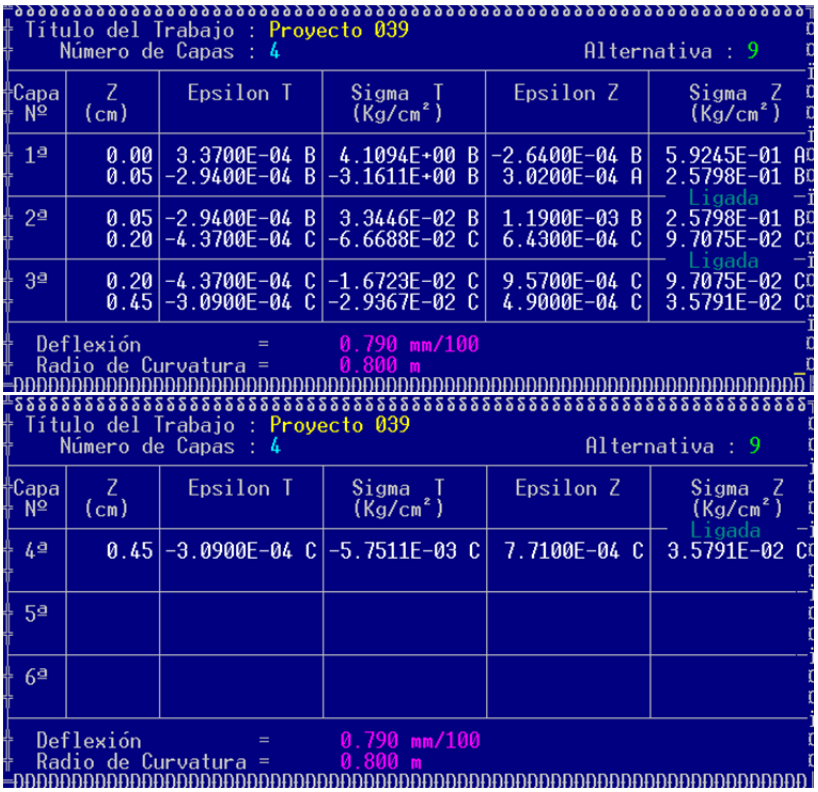


Figura L 18. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura L 19. Información alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

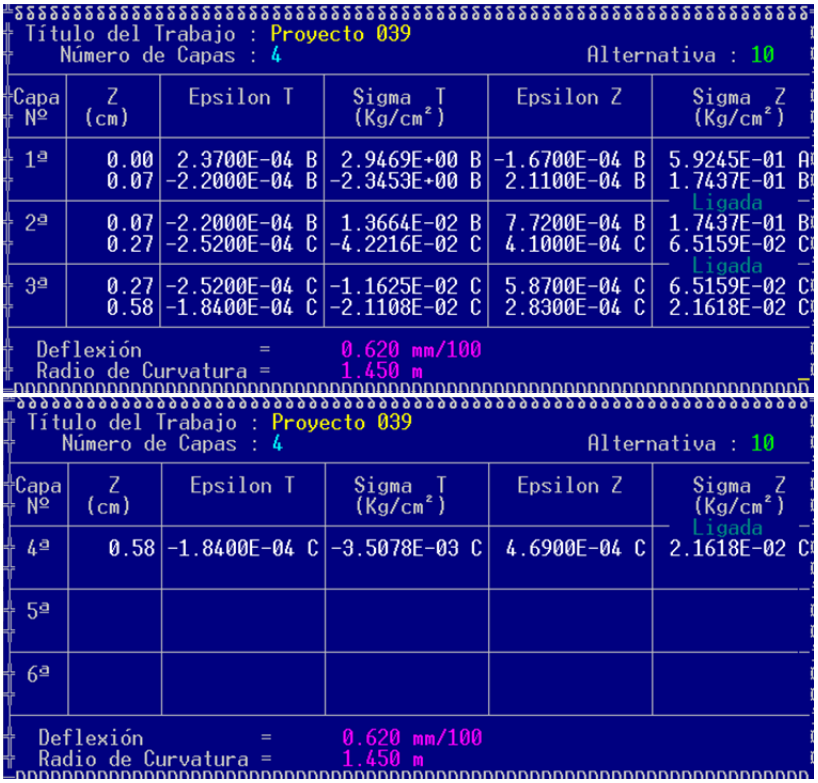


Figura L 20. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

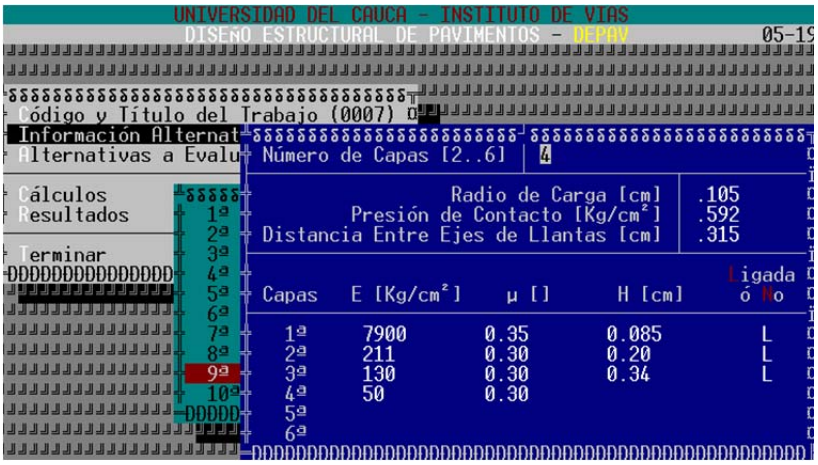


Figura L 21. Información alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

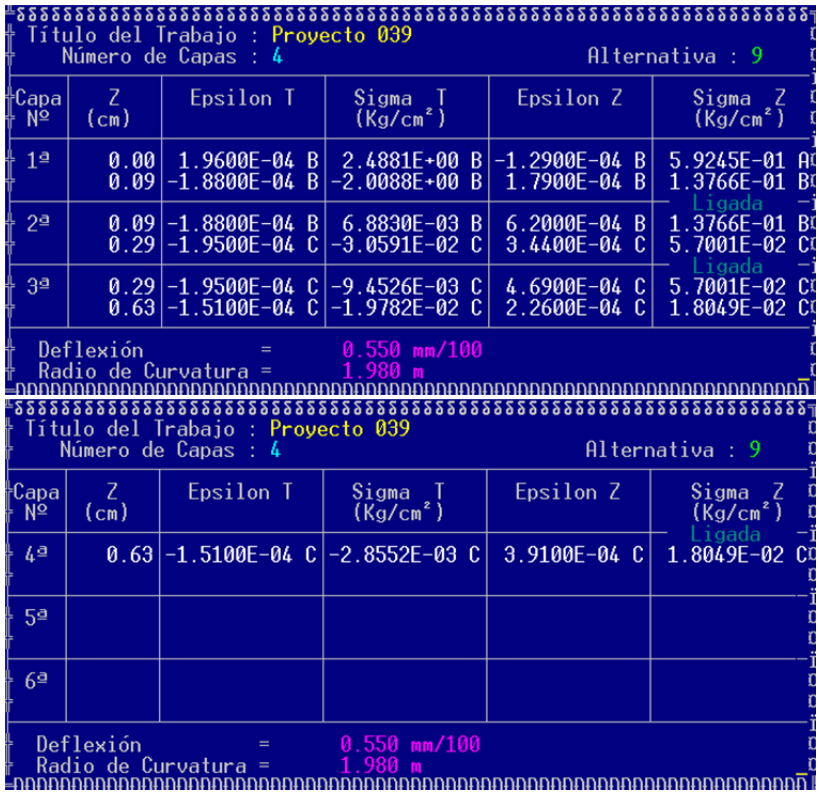


Figura L 22. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura L 23. Información alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

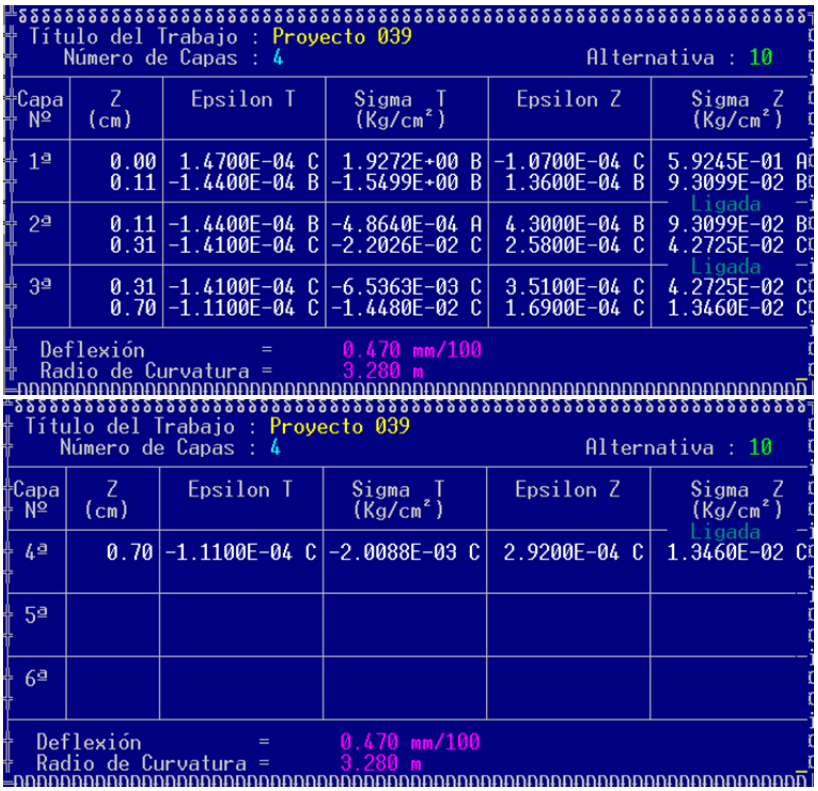


Figura L 24. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (82 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

ANEXO M. Información simulaciones de estructuras dimensionadas en pavimento flexible variando el espesor de la capa asfáltica, para 130 kN y 5 Hz.

Figura M 1. Información alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

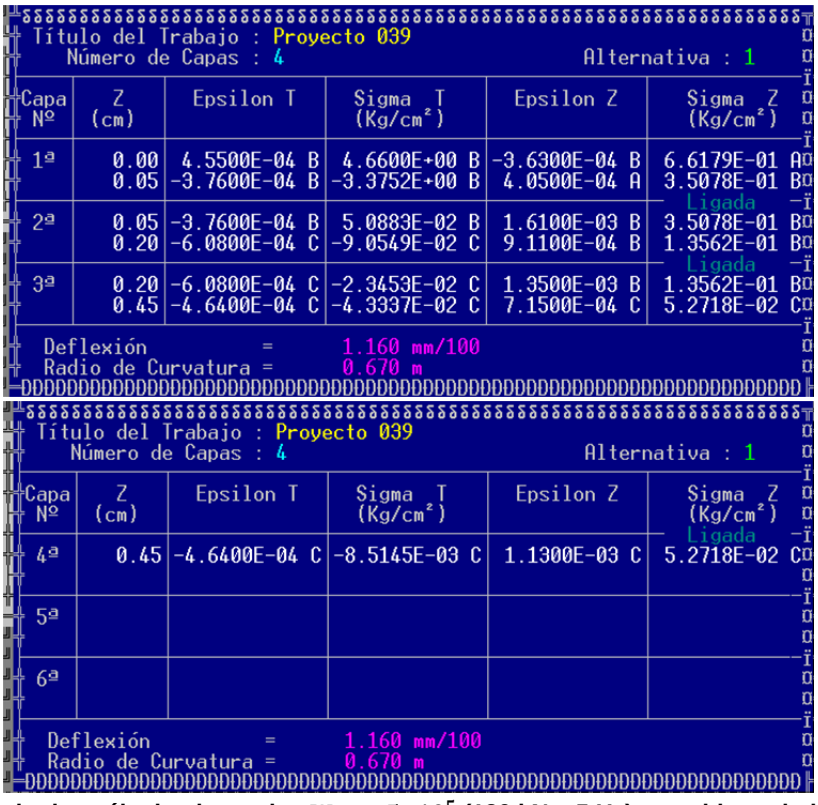


Figura M 2. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura M 3. Información alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

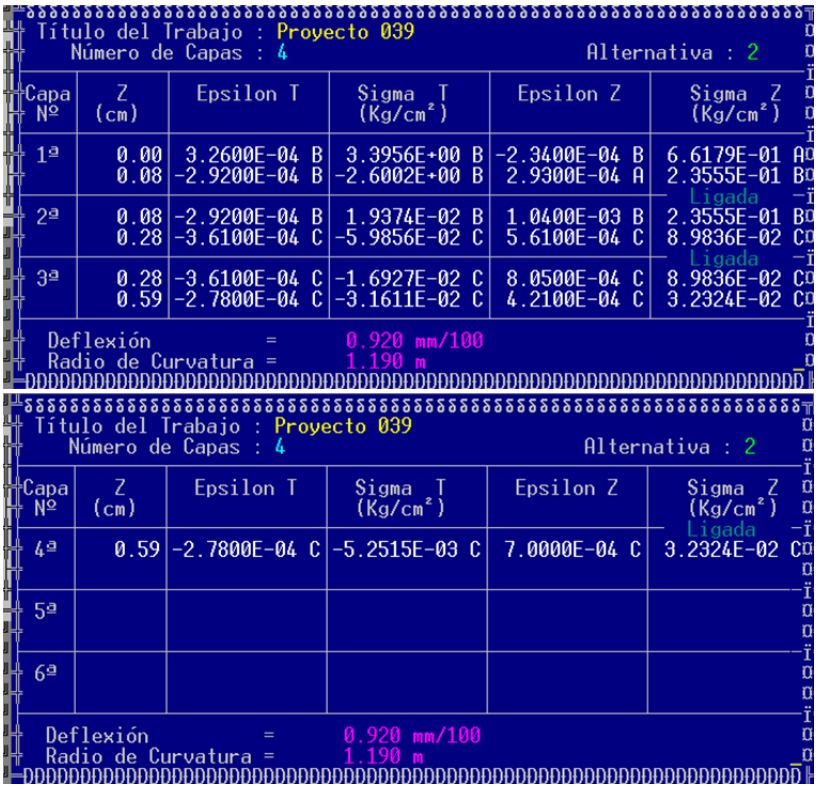


Figura M 4. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura M 5. Información alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

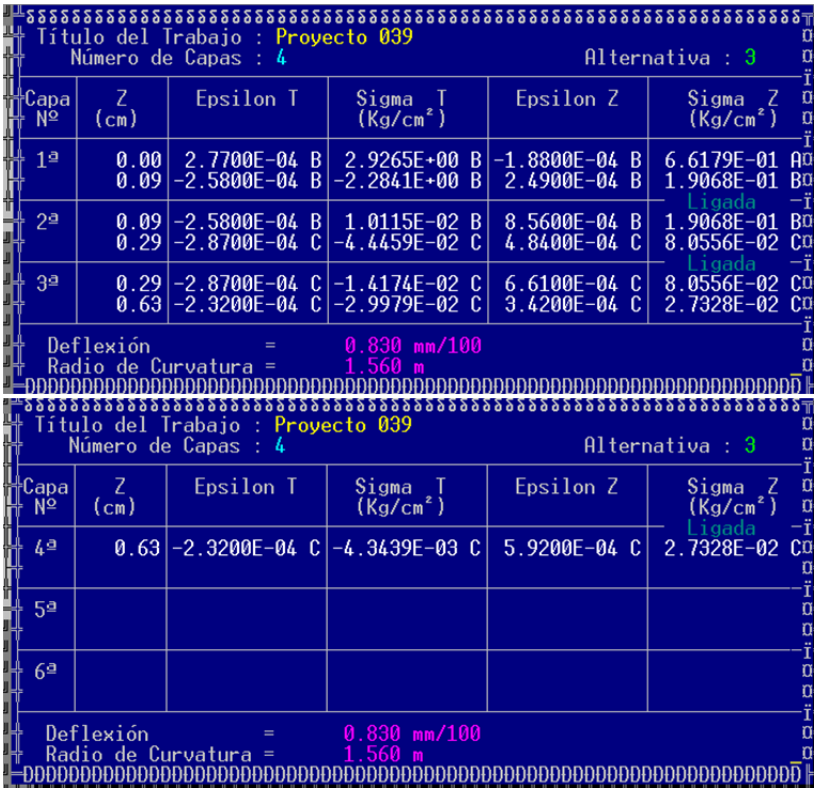


Figura M 6. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura M 7. Información alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

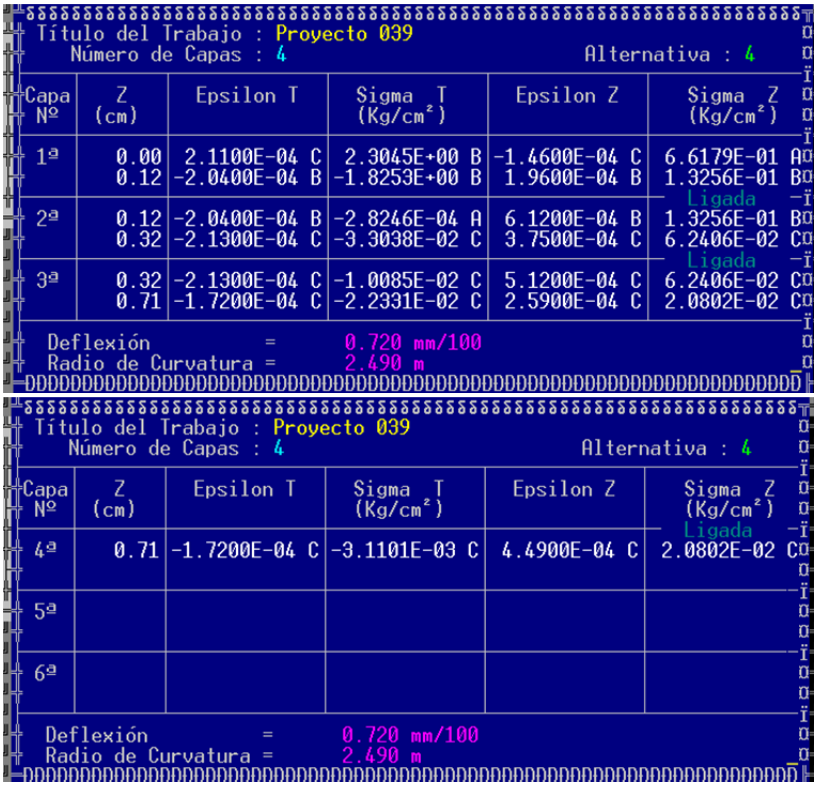


Figura M 8. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con CA 60-70 proveniente de Barrancabermeja y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura M 9. Información alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

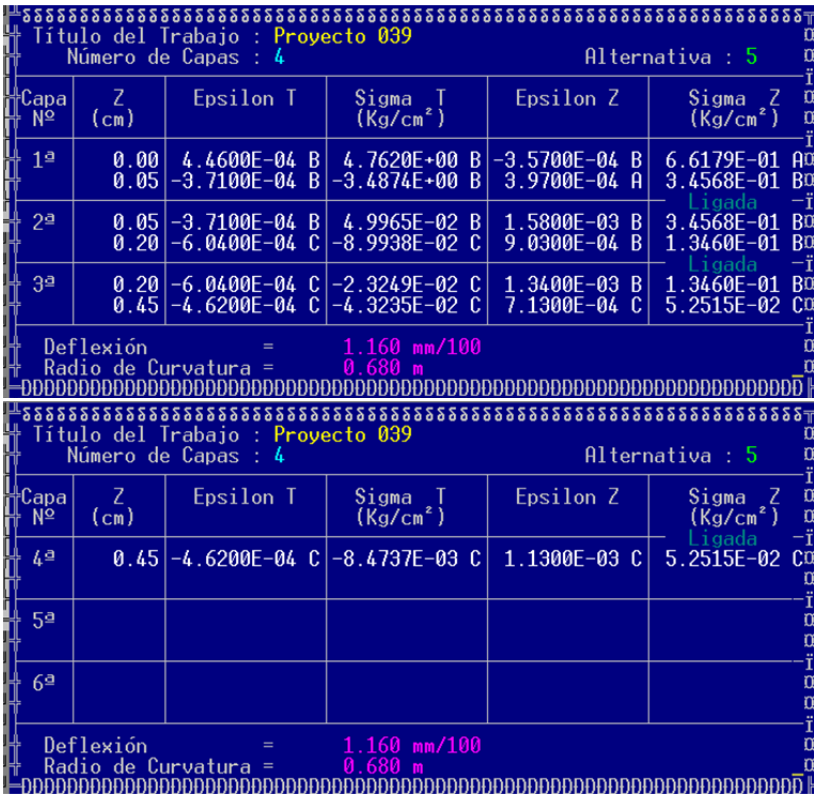


Figura M 10. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura M 11. Información alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

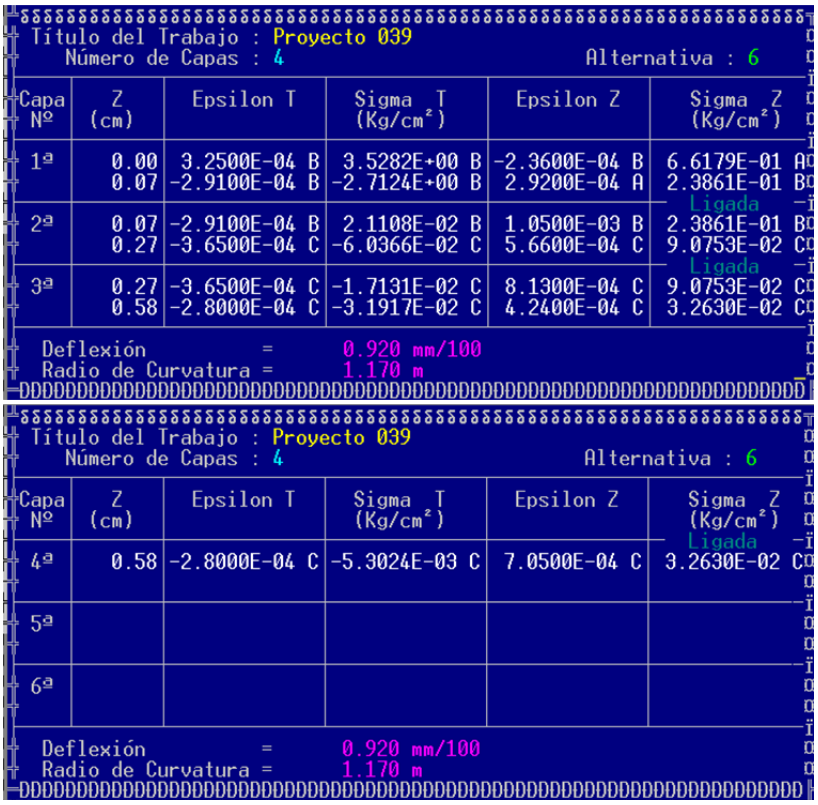


Figura M 12. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura M 13. Información alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

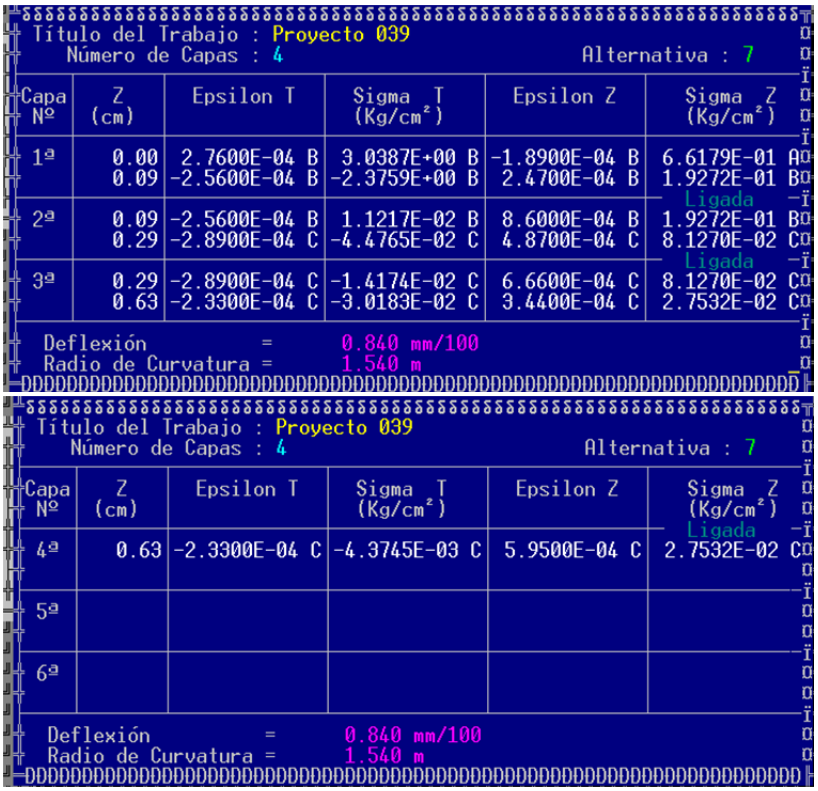


Figura M 14. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura M 15. Información alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

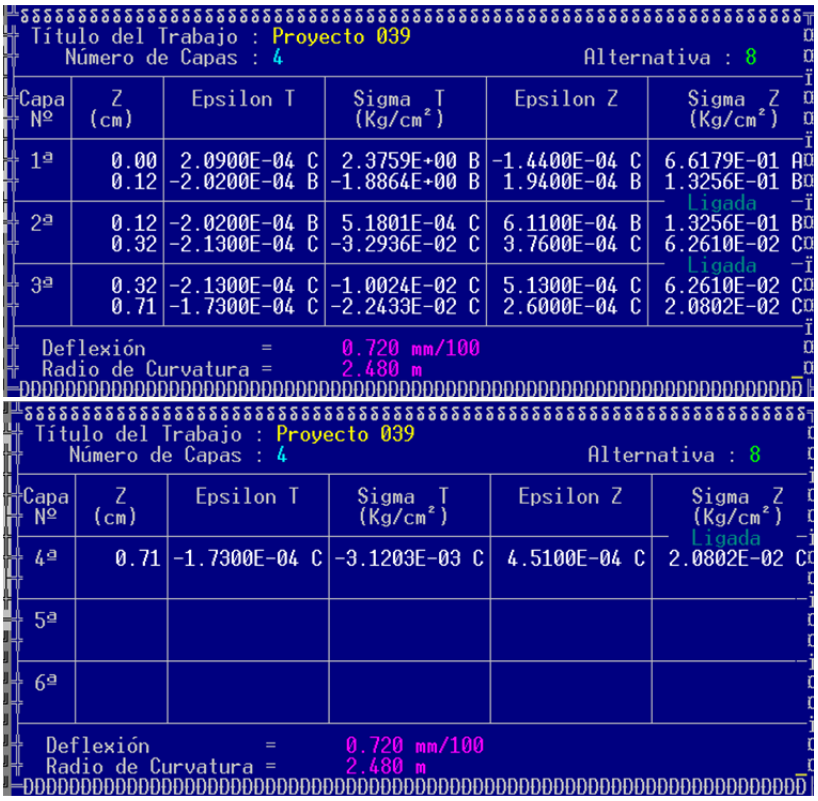


Figura M 16. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo I y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura M 17. Información alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

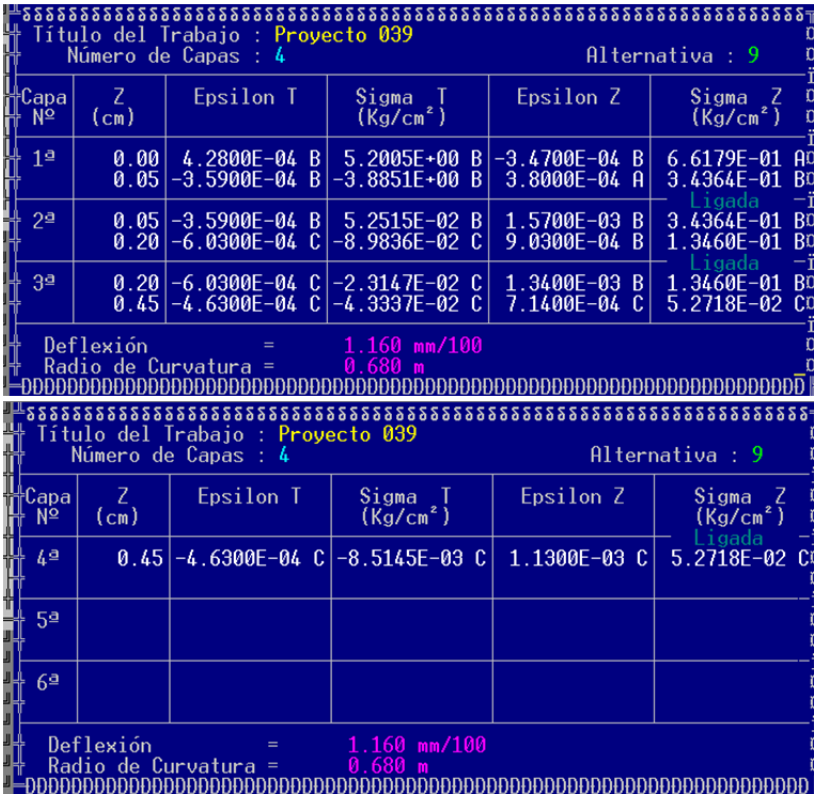


Figura M 18. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 5 \cdot 10^5$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura M 19. Información alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

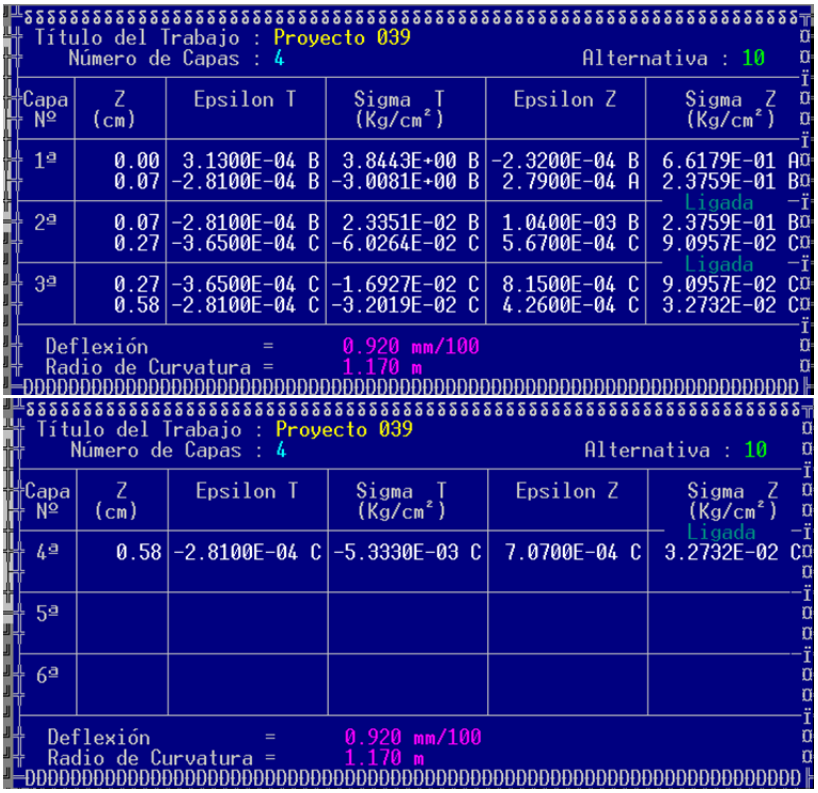


Figura M 20. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 3 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura M 21. Información alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

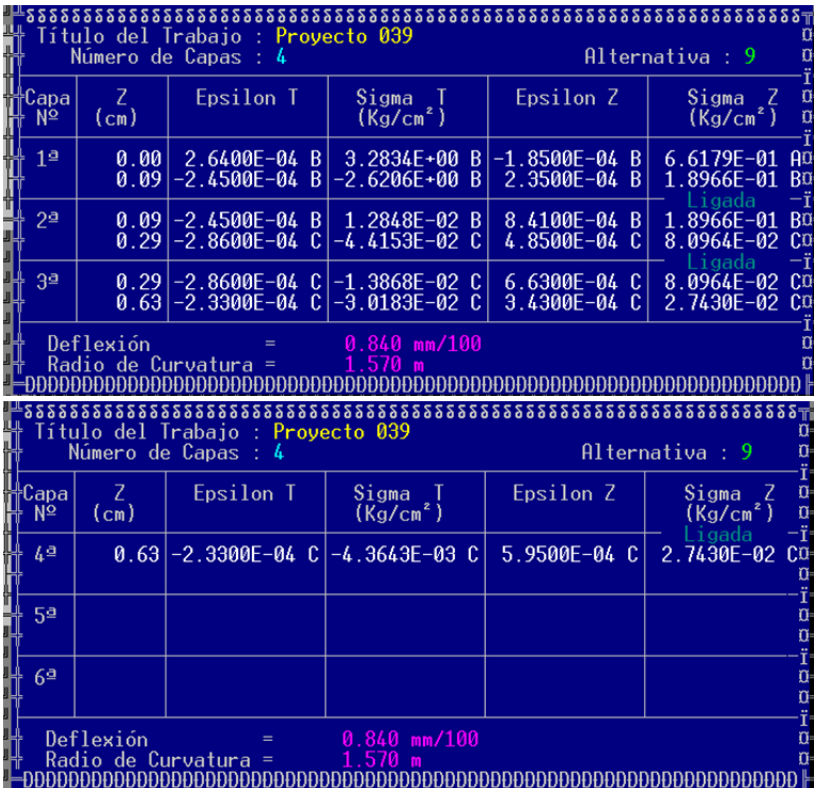


Figura M 22. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 7,5 \cdot 10^6$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

Figura M 23. Información alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

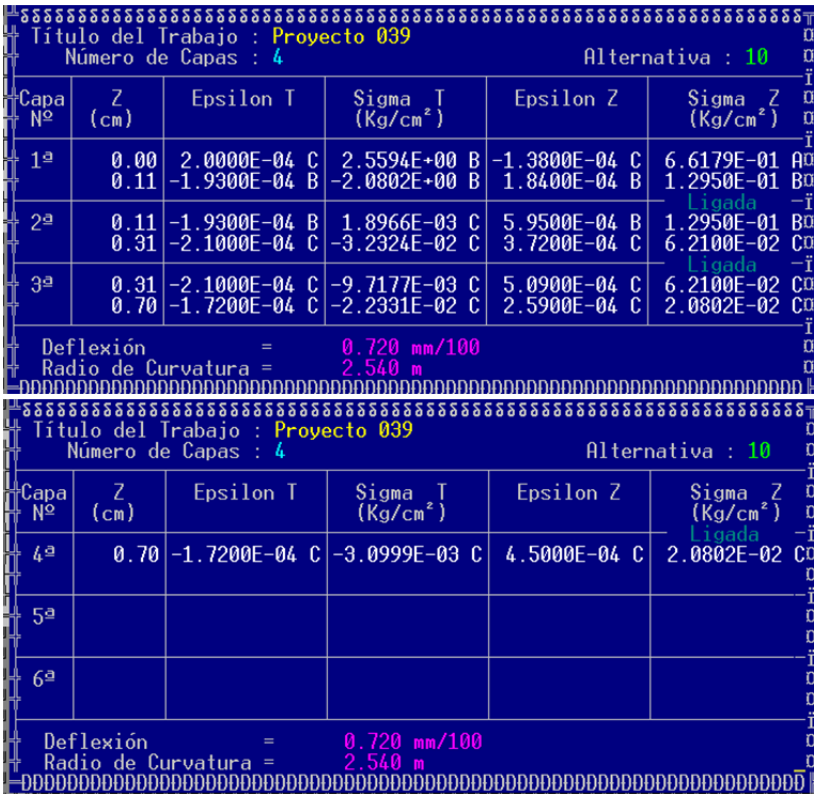


Figura M 24. Resultados cálculo alternativa $W_{18} = 2 \cdot 10^7$ (130 kN y 5 Hz), considerando las propiedades mecánicas bajo carga dinámica obtenidas para la mezcla MD12 fabricada con cemento asfáltico modificado tipo II y variando el espesor de la capa asfáltica.

ANEXO N. Análisis de precios unitarios para una mezcla asfáltica en caliente tipo MD12, en planta.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE TIPO MD12 (en Planta)

COSTOS DIRECTOS					
Materiales					
Descripción	**Unidad**	**Precio-Unit.**	**Cantidad**	**Valor-Unit.**	
Asfalto Barrancabermeja 60/70	kg	1,041.00	125.86	131,023.59	
Agregados pétreos	m^3	58,892.31	0.85	50,330.94	
				Sub-Total	181,354.53
Insumos					
	Unidad	**Precio-Unit.**	**Cantidad**	**Valor-Unit.**	
Combustible (ACPM)	gal	8358.75	1.959	16,370.64	
Otros	Glob	97548.5736	1	97,548.57	
				Sub-Total	113,919.21
Total Costo Directo					**295,273.74**
COSTOS INDIRECTOS					
Descripción			Porcentaje	Valor Total	
Administración			8%	23,621.90	
Impresvistos			3%	8,858.21	
Utilidad			4%	11,810.95	
				Sub-Total	44,291.06
Total Costo Indirecto					**44,291.06**
PRECIO UNITARIO TOTAL (por metro cúbico de mezcla)					**339,564.80**

ANEXO O. Análisis de precios unitarios para una mezcla asfáltica tibia tipo MD12, en planta.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA TIPO MD12 (en Planta)

COSTOS DIRECTOS					
Materiales					
Descripción	**Unidad**	**Precio-Unit.**	**Cantidad**	**Valor-Unit.**	
Asfalto 60/70 modificado para mezcla tibia	kg	1,150.00	125.86	144,742.68	
Agregados pétreos	m^3	58,892.31	0.85	50,330.94	
				Sub-Total	195,073.62
Insumos					
	Unidad	**Precio-Unit.**	**Cantidad**	**Valor-Unit.**	
Combustible (ACPM)	gal	8358.75	1.469	12,277.98	
Otros	Glob	97548.5736	1	97,548.57	
				Sub-Total	109,826.55
Total Costo Directo					**304,900.17**
COSTOS INDIRECTOS					
Descripción			Porcentaje	Valor Total	
Administración			8%	24,392.01	
Impresvistos			3%	9,147.01	
Utilidad			4%	12,196.01	
				Sub-Total	45,735.03
Total Costo Indirecto					**45,735.03**
PRECIO UNITARIO TOTAL (por metro cúbico de mezcla)					**350,635.20**

ANEXO P. Especificaciones particulares

MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS TIPO DENSA ELABORADA CON ASFALTO MODIFICADO CON ADITIVOS DE TIPO QUÍMICO

1 DESCRIPCIÓN

Esta Especificación hace referencia a la elaboración, transporte, colocación y compactación, de una o más capas de mezcla asfáltica tibia tipo densa, elaboradas con asfalto modificado con aditivos de tipo químico. Se denomina mezcla asfáltica tibia aquella que mediante el uso de diferentes técnicas se logra reducir las temperaturas de mezclado y compactación, en al menos 28° C respecto a una mezcla asfáltica en caliente, sin alterar la calidad de la mezcla asfáltica resultante. La reducción de las temperaturas de mezclado y compactación traen consigo una reducción en la energía requerida para la elaboración de la mezcla, reducción de las emisiones a la atmósfera, y aumento en la eficiencia de colocación y compactación.

2 MATERIALES

2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

Los granulares para la elaboración de las mezclas asfálticas tibias deberán cumplir con lo requerido para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente en la Sección 510-11 de las “Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá”.

La mezcla de los agregados grueso y fino, y el llenante mineral, deberán ajustarse, en cuanto a su granulometría, a la gradación establecida en la Tabla 510.4 para una mezcla tipo MD12.

2.2 Ligante asfáltico a modificar

El ligante asfáltico a modificar para elaborar la mezcla asfáltica tibia deberá ser el establecido en los documentos técnicos del proyecto en función de las condiciones de operación de la vía, la composición de la estructura del pavimento y la posición de la capa asfáltica; en la Tabla 1 se presenta una guía para la selección del mismo. La calidad del ligante asfáltico a modificar para mezcla asfáltica tibia deberá satisfacer lo establecido en la Tabla 200.1 de la Sección 200 de las "Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá", cuando se trate de cemento asfáltico, y en la Tabla 202.1 de la Sección 202 de esta especificación cuando se emplee un cemento asfáltico modificado con polímeros. Cuando se emplee un cemento asfáltico modificado con polímeros, para elaborar una mezcla asfáltica tibia, se deberá garantizar que su grado de desempeño PG a altas temperaturas de servicio sea, como mínimo, el del ligante normalmente usado para mezclas asfálticas en caliente, y para intermedias y bajas temperaturas de servicio sea, como máximo, el del ligante normalmente usado para mezclas asfálticas en caliente.

Tabla 1. Tipo de ligante asfáltico a modificar para mezcla asfáltica tibia

Capa	Categoría de Tránsito			
	T0-T1	T2 – T3	T4	T5
Rodadura	80 -100	80 – 100	60 - 70 80 - 100	60 - 70

2.3 Aditivos reductores de temperatura

Para la elaboración de las mezclas asfálticas tibias se encuentran disponibles diferentes tecnologías en función de los procesos y/o de los productos utilizados, con la capacidad de reducir hasta en un veinte por ciento (20%) las temperaturas a las cuales una mezcla asfáltica en caliente es elaborada y compactada, sin alterar sus características mecánicas. Estas tecnologías se ajustan a una de cuatro categorías en función del aditivo utilizado, empleándose aditivos a base de agua, aditivos químicos, aditivos orgánicos, y aditivos generadores de agua. Una mezcla asfáltica tibia puede ser elaborada por una o por varias combinaciones de estas tecnologías.

Las tecnologías que se ajustan a las tres primeras categorías reducen la temperatura de mezclado y compactación en la mezcla asfáltica por medio de la adición de aditivos. Las tecnologías con aditivos a base de agua producen la generación de espuma en la mezcla asfáltica con la adición de agua. Esta especificación se hace referencia a las

características que deben cumplir las mezclas asfálticas tibias de tipo denso elaboradas con asfalto modificado con aditivos de tipo químico.

En la modificación del ligante, los aditivos químicos deben ser adicionados en la forma y velocidad recomendada por el fabricante, y su cantidad debe obedecer a la obtenida en la fórmula de trabajo; igualmente debe cumplirse con las recomendaciones del fabricante en cuanto al recibo, almacenamiento, y despacho de los aditivos. El uso de cada aditivo debe ser evaluado mediante diseños adecuados de mezclas asfálticas, empleando agregados y cementos asfálticos comúnmente usados en la elaboración de mezclas asfálticas para Bogotá. Para la aplicación de una mezcla asfáltica tibia elaborada con un ligante modificado con un aditivo químico específico, se deberán realizar tramos de prueba con el fin de evaluar el desempeño de la mezcla asfáltica tibia. En todo caso, el Constructor deberá garantizar que el ligante asfáltico modificado para mezcla asfáltica tibia no afectará el desempeño de la mezcla asfáltica.

El aditivo o tecnología que se utilice deberá estar respaldado por resultados de ensayos de estabilidad y durabilidad, en laboratorio o en campo, de las propiedades de la mezcla asfáltica en el tiempo, garantizando que haya sido usado al menos en dos proyectos de similares características y condiciones ambientales, con un desempeño satisfactorio demostrado en al menos la mitad del periodo de diseño, o en su defecto, certificar mediante pruebas de desempeño dinámico en laboratorio su funcionamiento en fatiga, módulo dinámico, y ahuellamiento, y su resistencia al daño por humedad y al envejecimiento.

2.4 Uso de otros aditivos

Podrán utilizarse otros aditivos que mejoren el desempeño de la mezcla asfáltica, como por ejemplo aditivos que impidan el desprendimiento de agregados, de acuerdo con su especificación de uso, y si estos resultan ser compatibles con los aditivos de la tecnología empleada.

2.5 Propiedades del Ligante asfáltico modificado para mezcla asfáltica tibia

El asfalto modificado para la fabricación de mezclas asfálticas tibias deberá poseer, como mínimo, el mismo grado de desempeño PG a altas temperaturas de servicio en comparación con el grado de desempeño PG del ligante que se está modificando, e igualmente se deberá prever que el grado de desempeño PG a bajas temperaturas de servicio no genere en la mezcla problemas de agrietamiento térmico (bajas temperaturas, fatiga térmica, y agrietamientos tipo top-down cracking) y por envejecimiento.

3 DISEÑO DE LA MEZCLA Y OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

El diseño de las mezclas asfálticas tibias se efectuará siguiendo el método Marshall (norma de ensayo INV E-748-07) y aplicando los criterios indicados en la Tabla 510.8 de la Sección 510-11 de las “Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá”.

3.1 Módulo Dinámico, Leyes de Fatiga y Resistencia a la deformación plástica

Para la evaluación del módulo dinámico, las leyes de fatiga y la resistencia a la deformación plástica, se tendrá en cuenta lo especificado en la Sección 510-11 de las “Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá”.

3.2 Módulo resiliente

La mezcla definida como óptima al efectuar el diseño Marshall deberá ser verificada con la medida de su módulo resiliente, el cual deberá cumplir, como mínimo, con el valor exigido en el diseño de la estructura del pavimento, sin que se afecte la resistencia a la fatiga. Las probetas que se sometan a este ensayo deberán ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo, según la norma de ensayo AASHTO R-30. Si este valor de módulo no se cumple, será necesario rediseñar la mezcla hasta lograr su cumplimiento.

4 EQUIPO

En adición a lo descrito en la Sección 107.2 del Capítulo 1, se utilizará el equipo adecuado capaz de producir una mezcla asfáltica tibia de acuerdo con lo señalado en esta Sección, y que permita la manejabilidad de la mezcla a la mínima temperatura deseada de compactación y colocación, sin considerar el tiempo de almacenamiento y la distancia de transporte.

La planta asfáltica tendrá las modificaciones que permitan el adecuado almacenamiento del ligante modificado para la elaboración de mezclas asfálticas tibias.

Los trabajos de colocación, compactación y control de las mezclas asfálticas tibias serán los mismos empleados para mezclas asfálticas en caliente, de acuerdo con lo establecido en la Sección 510-11 de las “Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá”.

5 REQUERIMIENTOS DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

5.1 Fase de experimentación

Sobre el particular, rige todo lo estipulado para mezclas asfálticas en caliente, en la sección 510-11 de las “Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá”.

5.2 Fabricación de la mezcla

La mezcla asfáltica tibia se fabricará de acuerdo a las recomendaciones dadas por el fabricante del aditivo químico a emplear en la modificación del ligante para mezcla asfáltica tibia.

5.3 Suministro, extensión y compactación

El suministro y extensión de las mezclas asfálticas tibias será igual a lo determinado en la Sección 510-11 de las “Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá”. La compactación se hará con el equipo adecuado que permita alcanzar los niveles de densidad requeridos.

6 CONDICIONES PARA EL RECIBO DE LOS TRABAJOS

Para el recibo de los trabajos aplica lo indicado en la Sección 510-11 de las “Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá”.