Especificaciones técnicas ET IC-01

Informe final: Contrato 791 - 2017

"Actualización de las Especificaciones técnicas generales IDU-ET-2011, a partir de los resultados de ensayos de campo y laboratorio"

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO

Dirección General
Yaneth Rocío Mantilla Barón

Subdirección General de Desarrollo Urbano
William Orlando Luzardo Triana

Dirección Técnica Estratégica
Joanny Camelo Yépez

Innovación y Desarrollo
Iván Alberto Caamaño Murillo
Jairo Alexander Ibarra Trujillo
José Alberto Prieto Hernández
Juan Pablo Agudelo Méndez
Nattalia Angelica Romero Hermosilla
Oscar Mauricio Velásquez Bobadilla
Stefania Olivera Ríos
Vicente Edilson Leal Moreno
Yuly Caterín Díaz Jiménez

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

Director del Proyecto
Fredy Alberto Reyes Lizcano

Equipo técnico
Manuel Santiago Ocampo Terreros
Edgar Eduardo Muñoz Díaz
Orlando Rincón Arango
Vivian Andrea Ulloa Mayorga
Ana Sofía Figueroa Infante

Equipo de apoyo
Jeisson Dubier Hurtado Tinoco
Paola Andrea Santacruz Pachón
Javier Gutiérrez Ramírez
Jorgen Christian Clausen Martínez Villalba
Juliana Cortés Mendívil
Said Alfonso Mejía Manrique

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO
BOGOTÁ

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

ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

Instituto
Desarrollo Urbano

CONTRATO
IDU-791-2017

OBJETO: ACTUALIZACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES IDU ET-2011, A PARTIR DE LOS RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO

Vigilada MinEducación

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
- BOGOTÁ -

INFORME FINAL DE LA CONSULTORÍA

Bogotá D.C., Julio 30 de 2018

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

A. RESUMEN **29**

B. INTRODUCCIÓN **33**

C. JUSTIFICACIÓN **35**

D. ALCANCE **37**

E. ANTECEDENTES **39**

F. OBJETIVOS **41**

F.1 OBJETIVO GENERAL 41

F.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 41

G. GENERALIDADES SOBRE EL PROYECTO **43**

G.1 PLAZO 43

G.2 EJECUCIÓN 43

G.3 PERSONAL PROFESIONAL Y DE APOYO 43

G.4 ACTAS LEGALES 45

G.5 ESTADO FINANCIERO 46
G.5.1 PRESUPUESTO GLOBAL 46
G.5.2 PRESUPUESTO PARA LOS INSUMOS 46

G.6 GARANTÍAS 47

H. DESARROLLO DE LA CONSULTORÍA **49**

H.1 RECOPILACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DOCUMENTAL 49
H.1.1 MESAS DE TRABAJO 49

H.2 MUESTREO REALIZADO DURANTE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO 52
H.2.1 PLAN DE MUESTREO 52
H.2.1.1 Materiales básicos 52
H.2.1.2 Agregados 58
H.2.1.3 Concreto 69
H.2.1.4 Paneles de pisos para puentes peatonales prototipo para Bogotá 70
H.2.1.5 Muestras fabricadas en el laboratorio 72
H.2.2 GESTIONES DEL MUESTREO 76
H.2.3 BALANCE DE MATERIALES MUESTREADOS 77
H.2.4 INFORMES DE MUESTREO DE MATERIALES 77

H.3 ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO 77
H.3.1 PLAN DE ENSAYOS 78
H.3.1.1 Materiales básicos 78
H.3.1.2 Materiales granulares 105
H.3.1.3 Suelos y granulares estabilizados o mejorados 142
H.3.1.4 Elaboración y caracterización de mezclas asfálticas convencionales 149
H.3.1.5 Elaboración y caracterización de mezclas asfálticas modificadas 153
H.3.1.6 Concreto hidráulico 156
H.3.1.7 Paneles de pisos de puente peatonal prototipo para Bogotá 157
H.3.2 BALANCE DE ENSAYOS EJECTUTADOS 162
H.3.3 INFORMES DE RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS EN LA ETAPA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO 169
H.3.4 PROTOCOLOS DE ENSAYOS 169
H.3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS 170
H.3.5.1 SUELOS DE SUBRASANTE 170
H.3.5.2 CEMENTO HIDRÁULICO 185
H.3.5.3 CAL 189
H.3.5.4 GCR 193
H.3.5.5 RAJÓN 201
H.3.5.6 EMULSIONES ASFÁLTICAS 202
H.3.5.7 CEMENTOS ASFÁLTICOS CONVENCIONALES DE PENETRACIÓN 60/70 206
H.3.5.8 CEMENTOS DE ASFALTICOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS 222
H.3.5.9 CEMENTOS ASFÁLTICOS DE PENETRACIÓN 40/50 238
H.3.5.10 CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON GCR 247
H.3.5.11 AGREGADOS PÉTREOS PARA BASES Y SUBBASES 255
H.3.5.12 RAP 304
H.3.5.13 AGREGADOS PÉTREOS DE SUBBASE ADICIONADA CON RAP 314
H.3.5.14 AGREGADOS PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS 326

H.3.5.15 AGREGADOS RECICLADOS OBTENIDOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN 337
H.3.5.16 SUBBASE GRANULAR ADICIONADA CON RAP 449
H.3.5.17 SUBBASE GRANULAR ADICIONADAS CON RCD 456
H.3.5.18 ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON CEMENTOS 477
H.3.5.19 BASE GRANULAR MEJORADA CON CEMENTO HIDRÁULICO 489
H.3.5.20 BASE GRANULAR MEJORADA CON EMULSIÓN 498
H.3.5.21 BASE GRANULAR MEJORADA CON CEMENTO ASFÁLTICO 503
H.3.5.22 MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ALTO MÓDULO 506
H.3.5.23 MEZCLAS ASFÁLTICAS DENSAS EN FRÍO 512
H.3.5.24 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA ALMACENAJE EN FRÍO 514
H.3.5.25 MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON GCR (VÍA SECA) 518
H.3.5.26 MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON GCR (VÍA HÚMEDA) 524
H.3.5.27 CONCRETO HIDRÁULICO 529
H.3.5.28 PISOS EN ALUMINIO PARA TABLERO DE PUENTE PEATONAL 547
H.3.5.29 PISOS EN MATERIAL SINTÉTICO PARA TABLERO DE PUENTE PEATONAL 554
H.3.5.30 PISOS EN CONCRETO PRETENSADO PARA TABLERO DE PUENTE PEATONAL 561

H.4 ACTUALIZACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS IDU ET 2011 570
H.4.1 PLAN DE TRABAJO 570
H.4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES IDU ACTUALIZADAS 572
H.4.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES – VERSIÓN PRÁCTICA 572
H.4.4 MATRIZ DE RELACIÓN DE LOS PRINCIPALES CAMBIOS REALIZADOS A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN IDU ET 2011 573
H.4.5 ATENCIÓN A COMENTARIOS DE LAS ESPECIFICACIONES 573

H.5 REQUISITOS DE CALIDAD 573
H.5.1 PLAN DE CALIDAD 573

H.6 SOCIALIZACIÓN Y TRANSFERENCIA DEL CONOCIMIENTO 574

I. CONCLUSIONES 585

I.1 LIGANTES ASFALTICOS 585

I.2 AGREGADOS PÉTREOS PARA BASES Y SUBBASES 585

I.3 AGREGADOS PÉTREOS DE SUBBASE ADICIONADA CON MBR 589

I.4 AGREGADOS PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS 589

I.5 MEZCLAS ASFÁLTICAS 590

I.6 AGREGADOS RECICLADOS OBTENIDOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN 592

I.7 ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON CEMENTOS 594

I.8 BASE GRANULAR MEJORADA CON CEMENTO HIDRÁULICO 594

I.9 BASE GRANULAR MEJORADA CON EMULSIÓN 595

I.10 BASE GRANULAR MEJORADA CON CEMENTO ASFÁLTICO 595

I.11 MATERIALES PARA PISOS DE PUENTE PEATONAL PROTOTIPO PARA BOGOTÁ D.C. 595

J. RECOMENDACIONES 597

J.1 MATERIALES 597
J.1.1 SUELOS DE SUBRASANTE 597
J.1.2 LIGANTES ASFÁLTICOS 597
J.1.3 AGREGADOS PÉTREOS DE SUBBASE ADICIONADA CON RAP 597
J.1.4 ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON CEMENTOS 598
J.1.5 MEZCLAS ASFÁLTICAS 598
J.1.6 AGREGADOS RECICLADOS OBTENIDOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN 599
J.1.7 GEOSINTÉTICOS 599

J.2 FUTURAS ESPECIFICACIONES 600

K. BIBLIOGRAFÍA 601

L. CONTROL DE CAMBIOS 603

M. ANEXOS 604

M.1 ANEXO 1. Recopilación, revisión y análisis de información documental. (Memoria técnica) 604

M.2 ANEXO 2. Muestreo de materiales 604

M.2.1 ANEXO 2.1. Plan de muestreo 604
M.2.2 ANEXO 2.2 Balance de materiales muestreados 604
M.2.3 ANEXO 2.3 Informes de muestreo de materiales 604

M.3 ANEXO 3. Ensayos de campo y laboratorio 604
M.3.1 ANEXO 3.1 Plan de ensayos 604
M.3.2 ANEXO 3.2 Balance de ensayos ejecutados 604
M.3.3 ANEXO 3.3 Informes de resultados de ensayos 604
M.3.4 ANEXO 3.4 Protocolos de ensayos 604

M.4 ANEXO 4. Actualización de Especificaciones Técnicas IDU ET 2011 604
M.4.1 ANEXO 4.1 Plan de trabajo 604
M.4.2 ANEXO 4.2 Especificaciones Técnicas Generales IDU actualizadas 604
M.4.3 ANEXO 4.3 Especificaciones Técnicas Generales – Versión Practica 604
M.4.4 ANEXO 4.4 Matriz de control de cambios de las especificaciones 604
M.4.5 ANEXO 4.5 Atención a comentarios de las especificaciones 604

M.5 ANEXO 5. Requisitos de calidad 604
M.5.1 ANEXO 5.1 Plan de calidad 604

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Productos de las etapas del proyecto..... 39
Tabla 2. Informes mensuales de la etapa de ejecución..... 39
Tabla 3. Plazo para la ejecución del contrato..... 43
Tabla 4. Fechas de inicio y fin de las etapas del proyecto. 43
Tabla 5. Personal profesional y de apoyo 43
Tabla 6. Actas legales del contrato 45
Tabla 7. Actas de pago según informes de las etapas del proyecto..... 46
Tabla 8. Pagos de informes de insumos 47
Tabla 9. Cambios en el plan de muestreo para los materiales básicos 53
Tabla 10. Cambios en el plan de muestreo para los agregados..... 58
Tabla 11. Cambios en el plan de muestreo para los concretos 70
Tabla 12. Cambios en el plan de muestreo para los materiales para puente peatonales . 71
Tabla 13. Cambios en el plan de muestreo para las muestras fabricadas en el laboratorio 72
Tabla 14. Control de cambios en plan de ensayos para Subrasante..... 80
Tabla 15. Control de cambios en plan de ensayos para Cemento hidráulico 85
Tabla 16. Control de cambios en plan de ensayos para Cal 86
Tabla 17. Control de cambios en plan de ensayos para GCR..... 87
Tabla 18. Control de cambios en plan de ensayos para Rajón 88
Tabla 19. Control de cambios en plan de ensayos para Emulsión asfáltica 89
Tabla 20. Control de cambios en plan de ensayos para Cemento asfáltico convencional 91
Tabla 21. Control de cambios en plan de ensayos para Cemento asfáltico modificado con polímeros..... 94
Tabla 22. Control de cambios en plan de ensayos para Cemento asfáltico modificado de penetración 40/50 98
Tabla 23. Control de cambios en plan de ensayos para Cemento asfáltico modificado con GCR 101
Tabla 24. Control de cambios en plan de ensayos para agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de cantera. 106
Tabla 25. Control de cambios en plan de ensayos para agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de obras en ejecución. 110
Tabla 26. Control de cambios en plan de ensayos para agregados pétreos para bases y subbases obtenido de RAP..... 114
Tabla 27. Control de cambios en plan de ensayos para subbase granular adicionada con RAP 119
Tabla 28. Control de cambios en plan de ensayos para Agregados pétreos para Mezclas Asfálticas 123

Tabla 29. Control de cambios en plan de ensayos para RCD 127
Tabla 30. Control de cambios en plan de ensayos para RCD- viabilidad ambiental..... 133
Tabla 31. Control de cambios en plan de ensayos para Diseño se Subbase granular adicionada con RAP 136
Tabla 32. Control de cambios en plan de ensayos para Diseño se Subbase granular adicionada con RCD 139
Tabla 33. Control de cambios en plan de ensayos para Suelos tratados con cemento .. 143
Tabla 34. Control de cambios en plan de ensayos para Base y subbase granular mejorada con Cemento hidráulico 146
Tabla 35. Control de cambios en plan de ensayos para Base granular mejorada con Emulsión asfáltica 147
Tabla 36. Control de cambios en plan de ensayos para Base granular mejorada con Cemento asfáltico 148
Tabla 37. Control de cambios en plan de ensayos para Mezclas asfálticas de Alto Módulo 149
Tabla 38. Control de cambios en plan de ensayos para Mezclas asfálticas densas en frío 151
Tabla 39. Control de cambios en plan de ensayos para Mezclas asfálticas en caliente para almacenaje en frío 153
Tabla 40. Control de cambios en plan de ensayos para Mezclas asfálticas en modificadas con GCR por Vía seca 154
Tabla 41. Control de cambios en plan de ensayos para Mezclas asfálticas en modificadas con GCR por Vía húmeda..... 155
Tabla 42. Control de cambios en plan de ensayos para Concreto hidráulico. 156
Tabla 43. Control de cambios en plan de ensayos para paneles de pisos de puente peatonal prototipo para Bogotá 158
Tabla 44. Cantidad de ensayos ejecutados mensualmente 162
Tabla 45. Materiales básicos 164
Tabla 46. Agregados..... 165
Tabla 47. Mejoramientos y estabilizaciones con materiales cementantes..... 166
Tabla 48. Concreto ssfáltico e hidráulico..... 167
Tabla 49. Materiales para puentes peatonales 168
Tabla 50. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material Subrasante 172
Tabla 51. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material Subrasante 173
Tabla 52. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para el material Subrasante 173
Tabla 53. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13, muestra P069-1_1..... 174
Tabla 54. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13, muestra P069-1_2..... 175
Tabla 55. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13, muestra P069-1 175
Tabla 56. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13, muestra P062-4 176
Tabla 57. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material Subrasante 177
Tabla 58. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material Subrasante 177

Tabla 59. Resultados obtenidos del ensayo INV E 127-13 para el material Subrasante 178
Tabla 60. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material Subrasante 178
Tabla 61. Resultados obtenidos del ensayo INV E 132-07 Método B para el material Subrasante 179
Tabla 62. Resultados obtenidos del ensayo INV E 141-13 para el material Subrasante 179
Tabla 63. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material Subrasante 179
Tabla 64. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material Subrasante 181
Tabla 65. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material Subrasante 183
Tabla 66. Resultados obtenidos del ensayo UNE EN 12697-24 para el material Subrasante 184
Tabla 67. Resultados obtenidos del ensayo NTC 33-17 para el material Cemento Hidráulico 185
Tabla 68. Resultados obtenidos del ensayo NTC 107-06 para el material Cemento Hidráulico..... 186
Tabla 69. Resultados obtenidos del ensayo NTC 110 para el material Cemento Hidráulico 186
Tabla 70. Resultados obtenidos del ensayo NTC 118-07 para el material Cemento Hidráulico..... 187
Tabla 71. Resultados obtenidos del ensayo NTC 221-17 para el material Cemento Hidráulico..... 187
Tabla 72. Resultados obtenidos del ensayo ISO 13320:2013 para el material Cemento Hidráulico..... 188
Tabla 73. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para el material Cal..... 189
Tabla 74. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13, para la muestra P126-1..... 190
Tabla 75. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13, para la muestra P126-2..... 191
Tabla 76. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13, para la muestra P156-1..... 192
Tabla 77. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para el material GCR 193
Tabla 78. Resultados obtenidos del Protocolo para el material Rajón..... 201
Tabla 79. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material Rajón..... 201
Tabla 80. Resultados obtenidos del ensayo INV E 761-13 para el material Emulsión asfáltica 202
Tabla 81. Resultados obtenidos del ensayo INV E 762-13 para el material Emulsión asfáltica 202
Tabla 82. Resultados obtenidos del ensayo INV E 763-13 para el material Emulsión asfáltica 203
Tabla 83. Resultados obtenidos del ensayo INV E 764-13 para el material Emulsión asfáltica 203
Tabla 84. Resultados obtenidos del ensayo INV E 765-13 para el material Emulsión asfáltica 204
Tabla 85. Resultados obtenidos del ensayo INV E 766-13 para el material Emulsión asfáltica 204

Tabla 86. Resultados obtenidos del ensayo INV E 767-13 para el material Emulsión asfáltica 204
Tabla 87. Resultados obtenidos del ensayo INV E 768-13 para el material Emulsión asfáltica 205
Tabla 88. Resultados obtenidos del ensayo INV E 702-13 para el material Asfalto convencional Original..... 206
Tabla 89 Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto convencional Original..... 206
Tabla 90. Estadística Descriptiva de la Variable medida (mm) para penetración asfalto original 207
Tabla 91. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto convencional envejecido por RTFO 209
Tabla 92. Estadística Descriptiva de la Variable medida (1/10 mm) para penetración al residuo..... 210
Tabla 93. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto convencional envejecido por PAV..... 212
Tabla 94. Estadística Descriptiva de la Variable medida para penetración asfalto envejecido por PAV 212
Tabla 95. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto convencional original 214
Tabla 96. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto convencional envejecido por RTFO 214
Tabla 97. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto convencional envejecido por PAV..... 214
Tabla 98. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto convencional original 215
Tabla 99. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto convencional envejecido por RTFO 215
Tabla 100. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto convencional envejecido por PAV..... 215
Tabla 101. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto convencional..... 216
Tabla 102. Estadística Descriptiva de la Variable medida (cp) Determinación de la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional 135 °C asfalto convencional 60-70 217
Tabla 103. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto convencional envejecido por RTFO 218
Tabla 104. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto convencional envejecido por PAV..... 219
Tabla 105. Resultados obtenidos del ensayo INV E-750-13 para el material Asfalto convencional original 220

Tabla 106 Resultados obtenidos del ensayo INV E-750-13 para el material Asfalto convencional envejecido por RTFO 220
Tabla 107 Resultados obtenidos del ensayo INV E-750-13 para el material Asfalto convencional envejecido por PAV 221
Tabla 108 Resultados obtenidos del ensayo INV E-751-13 para el material Asfalto convencional envejecido por PAV 221
Tabla 109. Resultados obtenidos del ensayo INV E 702-13 para el material Asfalto modificado original 222
Tabla 110. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado original 222
Tabla 111. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO 222
Tabla 112. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV 223
Tabla 113. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado original 224
Tabla 114. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO 224
Tabla 115. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV 224
Tabla 116. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado original 225
Tabla 117. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO 225
Tabla 118. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV 225
Tabla 119. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado original 226
Tabla 120. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO 227
Tabla 121. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV 227
Tabla 122. Resultados obtenidos del ensayo INV E 742-13 para el material Asfalto modificado original 228
Tabla 123. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado original 228
Tabla 124, Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO 228
Tabla 125. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV 229

Tabla 126. Resultados obtenidos del ensayo INV E 751-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV 229
Tabla 127. Resultados obtenidos del ensayo INV E 702-13 para el material Asfalto modificado original 230
Tabla 128. Re Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado original 230
Tabla 129. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO 231
Tabla 130. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV 231
Tabla 131. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado original 232
Tabla 132. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO 232
Tabla 133. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV 232
Tabla 134 Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado original 233
Tabla 135. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO 233
Tabla 136. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV 234
Tabla 137. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado original 235
Tabla 138. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO 235
Tabla 139. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV 235
Tabla 140. Resultados obtenidos del ensayo INV E 742-13 para el material Asfalto modificado original 236
Tabla 141. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado original 236
Tabla 142. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO 237
Tabla 143. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV 237
Tabla 144. Resultados obtenidos del ensayo INV E 751-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV 238
Tabla 145. Resultados obtenidos del ensayo INV E 702-13 para el material Asfalto 40/50 original 238

Tabla 146. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto 40/50 original 239
Tabla 147. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por RTFO 239
Tabla 148. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por PAV 240
Tabla 149. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto 40/50 original 240
Tabla 150. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por RTFO 241
Tabla 151. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por PAV 241
Tabla 152. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto 40/50 original 241
Tabla 153. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por RTFO 242
Tabla 154. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por PAV 243
Tabla 155. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto 40/50 original 243
Tabla 156. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por RTFO 244
Tabla 157. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por PAV 244
Tabla 158. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto 40/50 original 245
Tabla 159. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por RTFO 245
Tabla 160. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por PAV 246
Tabla 161. Resultados obtenidos del ensayo INV E 751-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por PAV 246
Tabla 162. Resultados obtenidos del ensayo INV E 702-13 para el material Asfalto modificado con GCR original 247
Tabla 163. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado con GCR original 247
Tabla 164. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por RTFO 248
Tabla 165. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por PAV 248

Tabla 166. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado con GCR original 249
Tabla 167. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por RTFO 249
Tabla 168. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por PAV 249
Tabla 169. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado con GCR original 250
Tabla 170. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por RTFO 250
Tabla 171. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por PAV 251
Tabla 172. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado con GCR original 251
Tabla 173. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por RTFO 252
Tabla 174. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por PAV 252
Tabla 175. Resultados obtenidos del ensayo INV E 742-13 para el material Asfalto modificado con GCR original 253
Tabla 176. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado con GCR original 253
Tabla 177. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por RTFO 254
Tabla 178. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por PAV 254
Tabla 179. Resultados obtenidos del ensayo INV E 751-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por PAV 255
Tabla 180. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 255
Tabla 181. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 256
Tabla 182. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 256
Tabla 183. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 257
Tabla 184. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 257
Tabla 185. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 258

Tabla 186. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 258
Tabla 187. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 259
Tabla 188. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 260
Tabla 189. Resultados obtenidos del ensayo INV E 211-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 265
Tabla 190. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 265
Tabla 191. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P149-1 Base granular clase A. 266
Tabla 192. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P119-2 Base granular clase C. 267
Tabla 193. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P119-1 Subbase granular clase C. 268
Tabla 194. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 271
Tabla 195. Resultados obtenidos del ensayo INV E 220-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 272
Tabla 196. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 273
Tabla 197. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 273
Tabla 198. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 274
Tabla 199. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 274
Tabla 200. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 275
Tabla 201. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 276
Tabla 202. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 276
Tabla 203. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases 277
Tabla 204. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 277
Tabla 205. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 278

Tabla 206. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 279
Tabla 207. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 279
Tabla 208. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 280
Tabla 209. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 281
Tabla 210. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 282
Tabla 211. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 282
Tabla 212. Resultados del ensayo INV E 156-13 el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 283
Tabla 213. Resultados obtenidos del ensayo INV E 211-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 287
Tabla 214. Resultados del ensayo INV E 213-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 288
Tabla 215. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P048(1)-2 Base granular clase A 288
Tabla 216. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P048(1)-6 Base granular clase C 289
Tabla 217. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P044-1 Subbase granular clase A 290
Tabla 218. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P048(1)-1 Subbase granular clase A 291
Tabla 219. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P048(1)-1 Subbase granular clase A 292
Tabla 220. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P137-2 Subbase granular clase C 293
Tabla 221. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P044-3 Subbase granular clase peatonal 294
Tabla 222. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 296
Tabla 223. Resultados obtenidos del ensayo INV E 220-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 297
Tabla 224. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 299
Tabla 225. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 299

Tabla 226. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 300
Tabla 227. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 300
Tabla 228. Resultados obtenidos del ensayo INV E 230-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 301
Tabla 229. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 302
Tabla 230. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 303
Tabla 231. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra 304
Tabla 232. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 305
Tabla 233. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 305
Tabla 234. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 305
Tabla 235. Resultados obtenidos del ensayo INV E 211-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 306
Tabla 236. Resultados obtenidos del ensayo INV E 212-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 306
Tabla 237. Resultados del ensayo INV E 213-13, para la muestra P108-1 307
Tabla 238. Resultados del ensayo INV E 213-13, para la muestra P125-1 308
Tabla 239. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 309
Tabla 240. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 309
Tabla 241. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 309
Tabla 242. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 310
Tabla 243. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 310
Tabla 244. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 310
Tabla 245. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 311
Tabla 246. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 311

Tabla 247. Resultados obtenidos del ensayo EPA SW-846 1312 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 313
Tabla 248. Resultados obtenidos del ensayo EPA SW-846 1312 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP 313
Tabla 249. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 314
Tabla 250. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 315
Tabla 251. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P048(1)-4 315
Tabla 252. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 316
Tabla 253. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 316
Tabla 254. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 317
Tabla 255. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 317
Tabla 256. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 318
Tabla 257. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 318
Tabla 258. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 319
Tabla 259. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 320
Tabla 260. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P048(1)-4 320
Tabla 261. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 321
Tabla 262. Resultados obtenidos del ensayo INV E 220-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 322
Tabla 263. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 323
Tabla 264. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución..... 323
Tabla 265. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material Subbase granular adicionada con AP (obras en ejecución) 323
Tabla 266. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 324

Tabla 267. Resultados obtenidos del ensayo INV E 230-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 324
Tabla 268. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 325
Tabla 269. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 325
Tabla 270. Resultados obtenidos del ensayo INV E 239-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución) 326
Tabla 271. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 327
Tabla 272. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 327
Tabla 273. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 328
Tabla 274. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 328
Tabla 275. Resultados obtenidos del ensayo INV E 217-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 329
Tabla 276. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 329
Tabla 277. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 330
Tabla 278. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 331
Tabla 279. Resultados obtenidos del ensayo INV E 230-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 332
Tabla 280. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 333
Tabla 281. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 333
Tabla 282. Resultados obtenidos del ensayo INV E 239-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 334
Tabla 283. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 335
Tabla 284. Resultados obtenidos del ensayo INV E 774-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas 336
Tabla 285. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 338
Tabla 286. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 339

Tabla 287. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material residuos de construcción y demoliciónTercera Temporalidad 340
Tabla 288. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 342
Tabla 289. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 343
Tabla 290. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 344
Tabla 291. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 345
Tabla 292. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 346
Tabla 293. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 348
Tabla 294. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 349
Tabla 295. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 350
Tabla 296. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 351
Tabla 297. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 352
Tabla 298. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 352
Tabla 299. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 353
Tabla 300. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 354
Tabla 301. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 354
Tabla 302. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 356
Tabla 303. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 357
Tabla 304. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 358
Tabla 305. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 360
Tabla 306. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 361

Tabla 307. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 362
Tabla 308. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 365
Tabla 309. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 365
Tabla 310. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 366
Tabla 311. Resultados obtenidos del ensayo INV E 211-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 368
Tabla 312. Resultados obtenidos del ensayo INV E 211-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 369
Tabla 313. Resultados obtenidos del ensayo INV E 211-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 369
Tabla 314. Resultados obtenidos del ensayo INV E 214-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 372
Tabla 315. Resultados obtenidos del ensayo INV E 214-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 373
Tabla 316. Resultados obtenidos del ensayo INV E 214-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 374
Tabla 317. Resultados obtenidos del ensayo INV E 217-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 375
Tabla 318. Resultados obtenidos del ensayo INV E 217-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 377
Tabla 319. Resultados obtenidos del ensayo INV E 217-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 379
Tabla 320. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 381
Tabla 321. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 382
Tabla 322. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 382
Tabla 323. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 383
Tabla 324. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 384
Tabla 325. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 385
Tabla 326. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 386

Tabla 327. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 386
Tabla 328. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 387
Tabla 329. Resultados obtenidos del ensayo INV E 220-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 391
Tabla 330. Resultados obtenidos del ensayo INV E 220-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 393
Tabla 331. Resultados obtenidos del ensayo INV E 220-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 394
Tabla 332. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 397
Tabla 333. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 398
Tabla 334. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 399
Tabla 335. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 400
Tabla 336. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 401
Tabla 337. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 402
Tabla 338. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 404
Tabla 339. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 405
Tabla 340. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 406
Tabla 341. Resultados obtenidos del ensayo INV E 233-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 407
Tabla 342. Resultados obtenidos del ensayo INV E 233-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 408
Tabla 343. Resultados obtenidos del ensayo INV E 233-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 409
Tabla 344. Resultados obtenidos del ensayo INV E 234-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 410
Tabla 345. Resultados obtenidos del ensayo INV E 234-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 412
Tabla 346. Resultados obtenidos del ensayo INV E 234-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 415

Tabla 347. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 419
Tabla 348. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 419
Tabla 349. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 420
Tabla 350. Resultados obtenidos del ensayo INV E 239-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 422
Tabla 351. Resultados obtenidos del ensayo INV E 239-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 422
Tabla 352. Resultados obtenidos del ensayo INV E 239-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 423
Tabla 353. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 424
Tabla 354. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 425
Tabla 355. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 426
Tabla 356. Resultados obtenidos del ensayo (UNE EN 933-11 :2009) para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 429
Tabla 357. Resultados obtenidos del ensayo (UNE EN 933-11 :2009) para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 430
Tabla 358. Resultados obtenidos del ensayo (UNE EN 933-11 :2009) para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 431
Tabla 359. Resultados obtenidos del ensayo SM 3120 B para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 442
Tabla 360. Resultados obtenidos del ensayo SM 3120 B para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 443
Tabla 361. Resultados obtenidos del ensayo SM 3120 B para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 444
Tabla 362. Resultados obtenidos del ensayo EPA SW 846 1312para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad 447
Tabla 363. Resultados obtenidos del ensayo EPA SW 846 1312para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad 447
Tabla 364. Resultados obtenidos del ensayo EPA SW 846 1312para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad 448
Tabla 365. Valores valores indicativos de evaluación B establecidos en la Ley 1/2005, de 4 de febrero 449
Tabla 366. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP 449

Tabla 367. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP 450
Tabla 368. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP 450
Tabla 369. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP 451
Tabla 370. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP 453
Tabla 371. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP 453
Tabla 372. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP 454
Tabla 373. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP 455
Tabla 374. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP 455
Tabla 375. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD 456
Tabla 376. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD 457
Tabla 377. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P055-1 Arena mal gradada con finos..... 458
Tabla 378. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P055-2 Grava mal gradada gris 459
Tabla 379. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P055-3 Subbase granular 460
Tabla 380. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P055-D1 Concreto reciclado 45% Subbase,20% Grava trituración y 35% Arena trituración 461
Tabla 381. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P055-D2 Concreto reciclado 40% Subbase,35% Grava trituración y 25% Arena trituración 462
Tabla 382. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P055-D3 Concreto reciclado 50% Subbase,25% Grava trituración y 25% Arena trituración 463
Tabla 383. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD 463
Tabla 384. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD 464
Tabla 385. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD 465
Tabla 386. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD 465

Tabla 387. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD 466
Tabla 388. Resultados del ensayo INV E 156-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD 467
Tabla 389. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD 474
Tabla 390. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD 475
Tabla 391. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD 476
Tabla 392. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD 476
Tabla 393. Resultados obtenidos del ensayo INV E 141-13 para el material Subrasante tratada con cemento 480
Tabla 394. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material Subrasante tratada con cemento 481
Tabla 395. Resultados obtenidos del ensayo INV E 611-13 para el material Subrasante tratada con cemento 481
Tabla 396. Resultados obtenidos del ensayo INV E 614-13 para el material Subrasante tratada con cemento 483
Tabla 397. Resultados obtenidos del ensayo INV E 616-13 para el material Subrasante tratada con cemento 485
Tabla 398. Resultados obtenidos del ensayo INV E 612-13 para el material Subrasante tratada con cemento 486
Tabla 399. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Subrasante tratada con cemento 487
Tabla 400. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico 489
Tabla 401. Resultados obtenidos del ensayo INV E 612-13 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico 491
Tabla 402. Resultados obtenidos del ensayo INV E 613-13/614-13 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico 493
Tabla 403. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico 495
Tabla 404. Resultados obtenidos del ensayo INV E 612-13 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico 496
Tabla 405. Resultados obtenidos del ensayo INV E 614-13 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico 496
Tabla 406. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico 497

Tabla 407. Resultados obtenidos del ensayo INV E 622-13 para el material Base granular mejorada con emulsión 498
Tabla 408. Resultados obtenidos del ensayo INV E 622-13 para el material Base granular mejorada con emulsión 500
Tabla 409. Resultados obtenidos del ensayo INV E 738-13 para el material Base granular mejorada con emulsión 501
Tabla 410. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-26 para el material Base granular mejorada con emulsión 502
Tabla 411. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Base granular mejorada con emulsión 502
Tabla 412. Resultados obtenidos del ensayo INV E-725-13 para el material Base granular mejorada con cemento asfáltico 503
Tabla 413. Resultados obtenidos del ensayo INV E-748-13 para el material Base granular mejorada con cemento asfáltico 504
Tabla 414. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Base granular mejorada con cemento asfáltico 505
Tabla 415. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-26 para el material Base granular mejorada con cemento asfáltico 506
Tabla 416. Resultados obtenidos del ensayo INV E 725-13 para el material Mezclas asfálticas de Alto Módulo 507
Tabla 417. Resultados obtenidos del ensayo INV E 748-13 para el material Mezclas asfálticas de Alto Módulo 507
Tabla 418. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-26 para el material Mezclas asfálticas de Alto Módulo 509
Tabla 419. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Mezclas asfálticas de Alto Módulo 510
Tabla 420. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-2000 para el material Mezclas asfálticas de Alto Módulo 511
Tabla 421. Resultados obtenidos del ensayo INV E 725-13 para el material Mezclas asfálticas densas en frío 512
Tabla 422 Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-26 para el material Mezclas asfálticas densas en frío 512
Tabla 423. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Mezclas asfálticas densas en frío 513
Tabla 424. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-2000 para el material Mezclas asfálticas densas en frío 513
Tabla 425. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para el material Mezclas asfálticas en caliente para almacenaje en frío 514
Tabla 426. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P057-1_1 Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-Street Asphalt 515

Tabla 427. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P057-1_2 Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-Wilcatec-M2..... 516
Tabla 428. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P057-1_3 Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-MPI-M3..... 517
Tabla 429. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-26 para el material Mezclas asfálticas en caliente para almacenaje en frío 518
Tabla 430. Resultados obtenidos del ensayo INV E 725-13 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía seca)..... 519
Tabla 431. Resultados obtenidos del ensayo INV E 748-13 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía seca)..... 519
Tabla 432. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-26 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía seca)..... 521
Tabla 433. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía seca)..... 522
Tabla 434. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-2000 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía seca)..... 523
Tabla 435. Resultados obtenidos del ensayo INV E 725-13 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía humeda) 524
Tabla 436. Resultados obtenidos del ensayo INV E 748-13 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía humeda) 525
Tabla 437. Resultados obtenidos del ensayo EN 12698-26 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía humeda) 527
Tabla 438. Resultados obtenidos del ensayo EN 12698-24 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía humeda) 527
Tabla 439 Resultados obtenidos del ensayo EN 12698-2000 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía humeda) 528
Tabla 440. Resultados obtenidos del ensayo INV E 414-13 para el material Concreto hidráulico con MR 4,2 y 4,8 MPa 530
Tabla 441. Resultados obtenidos del ensayo NTC 673-10 para el material Concreto hidráulico con MR 4,2 y 4,8 MPa 532
Tabla 442. Promedio de los resultados de Resistencia a compresión y flexión para MR 4,2 y 4,8 MPa 536
Tabla 443. Resultados obtenidos del ensayo INV E 424-13 para el material Concreto hidráulico con MR 4,2 y 4,8 MPa 538
Tabla 444. Resultados obtenidos del ensayo NTC 4025-2010 para el material Concreto hidráulico con MR 4,2 y 4,8 MPa 539
Tabla 445. Resultados obtenidos del ensayo NTC 4483-98 para el material Concreto hidráulico con MR 4,2 y 4,8 MPa 540
Tabla 446. Resultados obtenidos del ensayo INV E 414-13 para el material Concreto hidráulico tipo FAST TRACK..... 541

Tabla 447. Resultados obtenidos del ensayo NTC 673-10 para el material Concreto hidráulico tipo FAST TRACK..... 542
Tabla 448. Promedio de los resultados de Resistencia a compresión y flexión concreto Fast track..... 543
Tabla 449. Resultados obtenidos del ensayo INV E 424-13 para el material Concreto hidráulico tipo FAST TRACK..... 545
Tabla 450. Resultados obtenidos del ensayo NTC 4025-2010 para el material Concreto hidráulico tipo FAST TRACK..... 546
Tabla 451. Resultados obtenidos del ensayo NTC 4483-98 para el material Concreto hidráulico tipo FAST TRACK..... 547
Tabla 452. Resultados de ensayo de desgaste de aluminio..... 549
Tabla 453. Resultado de ensayo flexión aluminio 550
Tabla 454. Resultado de ensayo tracción y módulo de elasticidad aluminio 551
Tabla 455. Resultado de ensayo tracción y módulo de elasticidad aluminio – Universidad de los Andes..... 553
Tabla 456. Resultado de ensayo de desgaste material sintético..... 557
Tabla 457. Resultado de ensayo de compresión del material sintético 559
Tabla 458. Resultado de ensayo de módulo de elasticidad material sintético 560
Tabla 459. Resultado de ensayo de desgaste material concreto 563
Tabla 460. Resultado de ensayo de flexión del concreto 564
Tabla 461. Resultado de ensayo de compresión del concreto 565
Tabla 462. Resultado de ensayo de módulo de elasticidad del concreto 567
Tabla 463. Resultado de ensayo de módulo de elasticidad del concreto 568
Tabla 464. Resultado de ensayo de módulo de elasticidad del concreto 569
Tabla 465. Cambios en los capítulos de las especificaciones..... 572
Tabla 466 Denominación de los materiales para capas granulares 586
Tabla 467. Denominación de las capas de protección con agregados y mezclas asfálticas 591
Tabla 468. Control de cambios 603

LISTA DE ILUSTRACIONES

Pág.

Ilustración 1. Cantidad de ensayos ejecutados por informe mensual de insumos 163
Ilustración 2. Cantidad de procedimientos de ensayo para materiales básicos 165
Ilustración 3. Cantidad de ensayos para agregadso 166
Ilustración 4. Cantidad de ensayo para mejoramiento y estabilización de materiales..... 167
Ilustración 5. Cantidad de ensayos para concreto asfáltico e hidráulico 168
Ilustración 6. Cantidad de ensayos para materiales para pisos de puentes peatonales. 169
Ilustración 7. Detalle fragmentos de ladrillo y material de demolición material de subrasante 171
Ilustración 8. Detalle fragmentos de ladrillo y material de demolición material de subrasante 171
Ilustración 9. Detalle de material aglutinado 172
Ilustración 10. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P069-1_1 181
Ilustración 11. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P069-1_2 182
Ilustración 12. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P069-1 182
Ilustración 13. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P062-4 183
Ilustración 14. Comparación de los resultados del parámetro medido respecto a los valores especificados (mm) para penetración asfalto original 208
Ilustración 15. Comparación de los resultados del parámetro medido respecto a los intervalos de confianza (mm) para penetración asfalto original 209
Ilustración 16. Comparación de los resultados del parámetro medido respecto a los valores especificados (1/10 mm) para penetración al residuo 211
Ilustración 17. Comparación de los resultados del parámetro medido respecto a los intervalos de confianza (1/10 mm) para penetración al residuo 211
Ilustración 18. Comparación de los resultados del parámetro medido respecto a los valores especificados (mm) para penetración asfalto envejecido por PAV 213
Ilustración 19. Comparación de los resultados del parámetro medido respecto a los intervalos de confianza (mm) para penetración asfalto envejecido por PAV 213
Ilustración 20. Análisis estadísticos viscosidad 135°C 218
Ilustración 21. Valor de θ en máximo en la capa de Base granular 262
Ilustración 22. Valor de θ máximo en la capa de Subbase granular 263
Ilustración 23. Resultados Módulo Resiliente para Base granular (cantera)..... 264
Ilustración 24. Resultados Módulo Resiliente para Subbase granular (cantera)..... 264
Ilustración 25. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Subbase granular tipo SB_Gr1 269

Ilustración 26. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Subbase granular tipo SB_Gr2 270
Ilustración 27. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Base granular tipo BG_Gr1 270
Ilustración 28. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Base granular tipo BG_Gr2 271
Ilustración 29. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P137-2 Subbase granular clase C..... 284
Ilustración 30. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P048(1)-1 Subbase granular clase A..... 284
Ilustración 31. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P048(1)-6 Base granular clase C..... 285
Ilustración 32. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P048(1)-2 Base granular clase A..... 285
Ilustración 33. Resultados Módulo Resiliente para Base granular (proyectos en ejecución) 286
Ilustración 34. Resultados Módulo Resiliente para Subbase granular (proyectos en ejecución) 287
Ilustración 35. Resultados ensayo INV E 156-13 319
Ilustración 36. Resultados del componente contra materia orgánica..... 342
Ilustración 37 Porcentaje de muestras de agregados reciclados con rango de valores de equivalente de arena. 356
Ilustración 38. Resultados reportados en el ensayo INV E 142-18 Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación) para bases y Subbases en las tres temporalidades. 359
Ilustración 39. Valores de CBR, por temporalidad y clasificación del material..... 364
Ilustración 40. Valores de CBR y Desgaste de Los Angeles. 365
Ilustración 41. Modulo Resiliente con Ɵ de 100 y 70 para los agregados reciclados de bases y subbases en todas las temporalidades. 367
Ilustración 42. Resultados de Modulo Resiliente máximo respecto a la carga obtenida para un 10% de finos. 367
Ilustración 43. Curvas granulometricas de las muestras analizadas 371
Ilustración 44. Resultados del contenido de finos en las muestras de base y subbase para cada temporalidad. 375
Ilustración 45. Resultados de Coeficiente de los Ángeles y Micro Deval para todos los agregados reciclados analizados en las 3 temporalidades. 389
Ilustración 46. Resultados de Coeficiente de los Ángeles contra la carga obtenida para 10% de finos para todos los agregados reciclados analizados en las 3 temporalidades. 389
Ilustración 47. Resultados del 10% de finos..... 390
Ilustración 48. Absorcion de los agregados reciclados gruesos y su coeficiente de los angeles. 391

Ilustración 49. Resultados de sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio para las distintas temporalidades clasificado como base o subbase. 397
Ilustración 50. Resultados de absorción y densidad para los agregados gruesos reciclados de base por Temporalidad. 404
Ilustración 51. Resultados de absorción y densidad para los agregados gruesos reciclados de Subbase por Temporalidad. 404
Ilustración 52. Resultados del contenido de azufre según la INV E 233-13, según la temporalidad y la clasificación de agregado reciclado. 410
Ilustración 53. Resultados reportados en el ensayo INV E 234-13 Determinación de la reactividad potencial álcali–sílice de Agregados, para bases y Subbases en las tres temporalidades. 418
Ilustración 54. Clasificación de los componentes de los áridos gruesos reciclados 428
Ilustración 55. Composición general en masa de los agregados reciclados AR mixtos producto de RCD. 432
Ilustración 56. Resultados de composición de los agregados reciclados AR mixtos producto de RCD con desviación. 433
Ilustración 57. Resultados medios, máximos y mínimos obtenidos para cada material que compone el agregado reciclado grueso, siguiendo el ensayo de la norma UNE EN 933-11:2009 435
Ilustración 58. Resultados de composición de los materiales del agregado grueso reciclado contra el coeficiente de los ángeles en la primera temporalidad para la Base. 437
Ilustración 59. Resultados de composición de los materiales del agregado grueso reciclado contra el coeficiente de los ángeles en la primera temporalidad para la Subbase. 437
Ilustración 60. Resultados de composición de los materiales del agregado grueso reciclado contra el coeficiente de los ángeles en la segunda temporalidad para la Base. 438
Ilustración 61. Resultados de composición de los materiales del agregado grueso reciclado contra el coeficiente de los ángeles en la segunda temporalidad para la Subbase. 438
Ilustración 62. Resultados de composición de los materiales del agregado grueso reciclado contra el coeficiente de los ángeles en la tercera temporalidad para la Base. 439
Ilustración 63. Resultados de composición de los materiales del agregado grueso reciclado contra el coeficiente de los ángeles en la tercera temporalidad para la Subbase. 439
Ilustración 64. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P029-1 452
Ilustración 65. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P029-2 452
Ilustración 66. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-3-1 468
Ilustración 67. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-3-2 469
Ilustración 68. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-3-3 469
Ilustración 69. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D1-1 470
Ilustración 70. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D1-2 470
Ilustración 71. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D1-3 471
Ilustración 72. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D2-1 471

Ilustración 73. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D2-2 472
Ilustración 74. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D2-3 472
Ilustración 75. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D3-1 473
Ilustración 76. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D3-2 473
Ilustración 77. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D3-3 474
Ilustración 78. Variación del peso unitario máximo con el contenido de cemento. 478
Ilustración 79. Variación de la resistencia a 7 días con el contenido de cemento..... 478
Ilustración 80. Variación de la resistencia a 7 días con el contenido de cemento..... 479
Ilustración 81. Resultados del ensayo INV E 156-13..... 486
Ilustración 82. Correlación entre resultados promedio de resistencia a flexión y compresión para MR 4,2 y 4,8 MPa. 536
Ilustración 83. Evolución de la resistencia a compresión de los concretos con MR de 4,2 Mpa y 4,8 MPa en el tiempo. 537
Ilustración 84. Evolución de la resistencia a flexión de los concretos MR de 4,2 Mpa y 4,8 MPa en el tiempo. 537
Ilustración 85. Correlación entre resultados promedio de resistencia a flexión y compresión de concreto Fast Track. 544
Ilustración 86. Evolución de la resistencia a compresión del concreto fast track en el tiempo. 544
Ilustración 87. Evolución de la resistencia a flexión del concreto fast track en el tiempo.545
Ilustración 88. Deformaciones verticales para la carga de 400 kg durante 5 años de simulación..... 548
Ilustración 89. Resultado punzonamiento punto 2. Carga máxima 6.01 kN y penetración máxima 11.79 mm 549
Ilustración 90. Gráficos esfuerzo –deformación para determinar el módulo de elasticidad aluminio 552
Ilustración 91. Deformaciones verticales para la carga de 400 kg durante 5 años de simulación..... 555
Ilustración 92. Resultado punzonamiento. Carga máxima 7.38 kN 556
Ilustración 93. Resultado de ensayo de flexión material sintético. Módulo de rotura de 9.50 MPa 558
Ilustración 94. Deformaciones verticales para la carga de 400 kg durante 5 años de simulación..... 562
Ilustración 95. Ensayo de punzonamiento. Carga Máxima 17.34 kN..... 563
Ilustración 96. Primera parte de la socialización, por parte de la Dra Joanny Camelo Yepez 574
Ilustración 97. Primera parte de la socialización por parte del Ing. Oscar Velasquez. 575
Ilustración 98. Socialización del proyecto por parte del Ing. Alexander Ibarra. 575
Ilustración 99. Socialización del proyecto por parte del Ing. Fredy Reyes. 576
Ilustración 100. Primera parte de la socialización, por parte de la Ing Vivian Ulloa 577
Ilustración 101. Socialización del proyecto por parte de la Ing. Vivian Ulloa. 578

Ilustración 102. Tercera socialización del proyecto realizada por parte del Ing. Manuel Ocampo 579
Ilustración 103. Tercera socialización del proyecto realizada por parte del Ing. Manuel Ocampo 579
Ilustración 104. Cuarta socialización del proyecto realizada por parte del Ing. Fredy Reyes, director del proyecto 580
Ilustración 105. Cuarta socialización del proyecto realizada por parte del Ing. Orlando Rincón, especialista en geotecnia. 581
Ilustración 106. Cuarta socialización del proyecto realizada por parte del Ing. Manuel Ocampo, especialista en infraestructura vial y pavimentos. 581
Ilustración 107. Cuarta socialización del proyecto realizada por parte de la Ing. Vivian Ulloa, especialista en materiales para infraestructura vial. 582
Ilustración 108. Cuarta socialización del proyecto realizada por parte del Ing. Edgar Muñóz, especialista en estructuras 582

LISTA DE ECUACIONES

Pág.

Ec= $3900\sqrt{f'c}$
Ecuación 1. 538

Ec= $3900\sqrt{f'c}$
Ecuación 2. 545

A. RESUMEN

El informe final de la consultoría recopila el resultado de las actividades realizadas durante la ejecución del contrato, consolidando lo consignado en los productos requeridos en los documentos técnicos del proyecto, que fueron revisados y aprobados por el Instituto, durante las dos etapas y sus respectivas fases, así como los 12 informes mensuales de adquisición de material y ejecución de ensayos de campo y laboratorio, en el período comprendido entre el 28 de febrero y el 18 de diciembre del año 2017, y entre el 1 de febrero y el 10 de junio de 2018.

B. INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al informe final de la consultoría, que consta de la recopilación de los resultados consignados en los productos realizados durante las dos grandes etapas del proyecto, la etapa preliminar y la etapa de ejecución; para alcanzar el objeto del contrato en mención. en la etapa preliminar se presenta: la recopilación, revisión y análisis de la información documental; la definición del plan de trabajo, ensayos, muestreo y calidad; las gestiones del muestreo; y el informe final etapa preliminar. Para la etapa de ejecución se presenta: el muestreo de materiales e información y la ejecución de ensayos de campo y laboratorio dentro de los informes de insumos presentados mensualmente; los análisis de resultados y la generación, actualización o complementación de los capítulos y/o secciones de las especificaciones técnicas generales IDU ET-2011 dentro de los informes de avance periódicos del proyecto y se realiza la entrega de las especificaciones técnicas nuevas para cada período.

Para presentar los resultados obtenidos son definidas en el presente informe, las cinco principales temáticas en donde será consolidada la información aprobada por el Instituto, tal como:

- Recopilación, revisión y análisis de información documental.
- Ensayos de campo y laboratorio
- Actualización de Especificaciones Técnicas IDU ET 2011
- Requisitos de calidad
- Socialización y transferencia del conocimiento.

C. JUSTIFICACIÓN

Las especificaciones técnicas generales de materiales y constucción, para proyectos de infraestrutura vial y espacio público del Instituto de Desarrollo Urbano, constituyen un documento técnico, para ser aplicado por medio de los tres entes establecidos para la ejecución de obras: Contratista de obra, Interventor y Supervisor,

La ejecución del contrato en mención, permite al Instituto de Desarrollo Urbano contar con la actualización de sus especificaciones en su última versión del año 2011, soportando principalmente del análisis de las propiedades físicas, químicas, mecánicas y dinámicas de los materiales, mediante los resultados de los ensayos de campo y laboratorio ejecutados.

Es asi como el presente informe se realiza con la finalidad de informar los productos realizados en el proyecto, que soportan la actualización de las especificaciones técnicas.

D. ALCANCE

Teniendo en cuenta que el desarrollo de una especificación técnica es un proceso dinámico en el tiempo, y es fundamental contar con los soportes técnicos validos suficientes a la hora de establecer o modificar un parámetro de las especificaciones técnicas IDU ET-2011, se presenta a continuación el alcance del proyecto:

a) Realizar los ensayos necesarios de campo y laboratorio como soporte para la generación y actualización de especificaciones técnicas generales y los que resulten necesarios en el marco de las competencias del Instituto.

b) Analizar propiedades y parámetros de materiales, procesos y procedimientos constructivos o equipos, a partir de la obtención y recopilación de información.

c) Generar, revisar, actualizar o complementar nuevas especificaciones técnicas a partir de las especificaciones IDU ET-2011, en el tema de infraestructura vial y espacio público.

E. ANTECEDENTES

Durante la ejecución del contrato fueron presentados informes y productos que reflejaron las actividades ejecutadas para alcanzar los objetivos propios de la etapa preliminar y de la etapa de ejecución. A continuación, se relacionan los productos en la Tabla 1.

Tabla 1. Productos de las etapas del proyecto

Etapa	Informe	Radicado de entrega
Preliminar	Informe final de la etapa preliminar	20175260383432
Ejecución	Informe de avance No 1	20175260633612
	Informe de avance No 2	20175260906162
	Informe de avance No 3	20185260425772

Adicionalmente a lo largo de la etapa de ejecución, se presentaron los siguientes informes mensuales de insumos, los cuales consideraron las cantidades ejecutadas de ensayos y adquisición de material durante el período correspondiente, estos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Informes mensuales de la etapa de ejecución.

Etapa	Informe	Radicado de entrega
Ejecución	Informe de Insumos No 1	20175260472172
	Informe de Insumos No 2	20175260544932
	Informe de Insumos No 3	20175260633642
	Informe de Insumos No 4	20175260688022
	Informe de Insumos No 5	20175260740072
	Informe de Insumos No 6	20175260874332
	Informe de Insumos No 7	20175260899362
	Informe de Insumos No 8	20175260926342
	Informe de Insumos No 9	20185260276832
	Informe de Insumos No 10	20185260325172
	Informe de Insumos No 11	20185260513332
	Informe de Insumos No 12	20185260560512

F. OBJETIVOS

F.1 OBJETIVO GENERAL

Actualizar las especificaciones técnicas generales IDU ET-2011, a partir de los resultados y análisis de los ensayos de campo y laboratorio.

F.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar especificaciones, manuales técnicos cartillas, guías y especificaciones técnicas particulares, existentes para el control de calidad de materiales y construcción de la infraestructura vial desarrolladas por: el IDU, INVIAS o Instituciones nacionales e internacionales, que sirvan como soporte para identificar el tipo de intervención en capítulo y secciones de las especificaciones técnicas vigentes IDU ET-2011.
- Analizar la información obtenida de muestreos de materiales y resultados de ensayos de campo y laboratorio, que sirva como soporte para la modificación o conservación de los valores de propiedades y parámetros de los materiales analizados.
- Generar las nuevas especificaciones técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y espacio público del Instituto de Desarrollo Urbano.
- Socializar los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto al público.

G. GENERALIDADES SOBRE EL PROYECTO

G.1 PLAZO

El plazo para la ejecución del contrato es de **CATORCE (14) MESES** contados a partir de la fecha de suscripción del Acta de Inicio. El plazo para la ejecución del contrato se discrimina según sus etapas y fases de la **Tabla 3**.

Tabla 3. Plazo para la ejecución del contrato

PLAZO EN MESES		
ETAPA PRELIMINAR	**ETAPA EJECUCIÓN**	**TOTAL**
2	12	14

G.2 EJECUCIÓN

A continuación en la **Tabla 4** , se presentan cada una de las fechas de inicio y finalización de las diferentes etapas que hicieron parte del proyecto.

Tabla 4. Fechas de inicio y fin de las etapas del proyecto.

ETAPA	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL
Suscripción del contrato	26 de enero de 2017	26 de enero de 2017
Firma acta de inicio	27 de febrero de 2017	27 de febrero de 2017
Etapa preliminar	27 de febrero de 2017	26 de abril de 2017
Etapa de ejecución	27 de abril de 2017	17 de diciembre de 2017
Suspensión	18 de diciembre de 2017	31 de enero de 2018
Etapa de ejecución	1 de febrero de 2018	10 de junio de 2018

G.3 PERSONAL PROFESIONAL Y DE APOYO

A continuación en la **Tabla 5**, es relacionado el personal que brindó apoyo en la ejecución del contrato en mención, asociado no solamente con el personal requerido en los documentos técnicos, sino el dispuesto para el cumplimiento de los objetivos.

Tabla 5. Personal profesional y de apoyo

NOMBRE	FORMACIÓN ACADÉMICA	CARGO
Fredy Alberto Reyes Lizcano	PhD, Ingeniero Civil	Director del proyecto
Manuel Santiago Ocampo Terreros	PhD, MSc, Ingeniero Civil	Especialista en infraestructura vial y pavimentos
Edgar Eduardo Muñoz Diaz	MSc, Ingeniero Civil	Especialista en estructuras

NOMBRE	FORMACIÓN ACADÉMICA	CARGO
Orlando Rincón Arango	PhD, MSc, Ingeneiro Civil	Especialista en geotecnia
Vivian Andrea Ulloa Mayorga	PhD, MSc, Ingeniera Civil	Especialista en materiales para infraestructura vial
Ana Sofía Figueroa Infante	PhD, MSc, Ingeniera Civil	Especialista en materiales para infraestructura vial
Paola Andrea Santacruz Pachón	MSc, Ingeniera Civil	Ingeniera de apoyo
Raisa Isabel Botto Lugo	MSc, Ingeniera Civil	Ingeniera de apoyo
David Santiago Rivera Silva	Estudiante de Ingeniería Civil	Auxiliar de Ingeniería
Maria Camila González Rincón	Estudiante de Ingeniería Civil	Auxiliar de Ingeniería
Javier Ramírez Gutierrez	Estudiante de Ingeniería Civil	Auxiliar de Ingeniería
Jorgen Christian Clausen Martínez - Villalba	Estudiante de Ingeniería Civil	Auxiliar de Ingeniería
Juliana Cortés Mendivil	Ingeneira Civil	Auxiliar de Ingeniería
Said Alfonso Mejía Manrique	Estudiante de Ingeniería Civil	Auxiliar de Ingeniería
Miguel Mauricio Castilla Barbosa	Estudiante de Ingeniería Civil	Auxiliar de Ingeniería
Yezid Alexander Alvarado Vargas	PhD, Ingeniero Civil	Jefe de laboratorio
Jeisson Dubier Hurtado Tinoco	Ingeniero Civil	Ingeniero de laboratorio
Oscar Orlando Rodriguez Rubio	Ingeniero Civil	Coordinador de laboratorio
Flor Angela Fragua Niño	Ingeniera Industrial	Coordinadora de Calidad Laboratorio de Pruebas y Ensayo
Sandra Milena Arteta Reyes	Msc, Química	Profesional de Laboratorio Calidad de Aguas
Clara Inés Daza Perilla	Bachiller académico	Asistente de laboratorio
Gary Alberto Tovar Tovar	Técnico en mantenimiento y reparación de edificaciones	Técnico de Laboratorio
Carlos Hernán Quitiaquez Villamarín	Tecnólogo en Saneamiento Ambiental	Técnico de Laboratorio
Sidney Leonardo Romero Reyes	Tecnológo Deliniante en Arquitectura e Ingenieria	Técnico de Laboratorio
Ernesto Manuel Daza Silva	Técnico de Laboratorio de Suelos	Técnico de Laboratorio
Jose Elvert Rubio Tafur	Estudiante de 10 semestre de Ingeniería Civil	Técnico de Laboratorio
Hugo Fernelly Briceño Herrera	Bachiller académico	Técnico de Laboratorio
Diego Fernando Alape	Técnico de Laboratorio de Suelos	Auxiliar de Laboratorio

NOMBRE	FORMACIÓN ACADÉMICA	CARGO
Tito Pedraza Lozada	Técnico en construcción de Edificaciones	Auxiliar de Laboratorio
Brayan José Payares Alfaro	Técnico de Laboratorio de Suelos	Auxiliar de Laboratorio

G.4 ACTAS LEGALES

A continuación en la **Tabla 6**, son relacionadas las actas legales suscritas durante la ejecución del contrato.

Tabla 6. Actas legales del contrato

Acta No	OBJETO	FECHA DEL ACTA
1	Acta de inicio	27 de febrero de 2017
2	Acta de fijación de precios no previstos	17 de mayo de 2017
3	Acta de pago No 1	7 de junio de 2017
4	Acta de fijación de precios no previstos	5 de julio de 2017
5	Acta de pago No 2	10 de julio de 2017
6	Acta de pago No 3	9 de agosto de 2017
7	Acta de pago No 4	8 de septiembre de 2017
8	Acta de pago No 5	4 de octubre de 2017
9	Acta de pago No 6	30 de noviembre de 2017
10	Acta de pago No 7	13 de diciembre de 2017
11	Acta de fijación de precios no previstos	13 de diciembre de 2017
12	Acta de suspensión	18 de diciembre de 2017
13	Acta de reinicio	1 de febrero de 2018
14	Acta de pago No 8	2 de abril de 2018
15	Acta de pago No 9	10 de mayo de 2018
16	Acta de pago No 10	1 de junio de 2018
17	Acta de terminación	12 de junio de 2018
18	Acta de pago No 11	3 de julio de 2018

G.5 ESTADO FINANCIERO

G.5.1 PRESUPUESTO GLOBAL

El valor básico global para la consultoría es de: **SEISCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO MILLONES TREINTA Y SEIS MIL CUATROCIENTOS VEINTIOCHO PESOS M/CTE ($ 654.036.428)**

Tabla 7. Actas de pago según informes de las etapas del proyecto

ACTA No	No DE PAGO	REQUERIMIENTO	PERIODO DE EJECUCIÓN	VALOR
3	1	Informe de desarrollo de la etapa preliminar	27 de febrero de 2017 – 26 de abril de 2017	$ 130.807.286
7	4	1° informe de avance	27 de abril de 2017 – 26 de julio de 2017	$ 98.105.454,00
10	7	2° informe de avance	27 de julio de 2017 - 26 de septiembre de 2017	$ 98.105.454,00
15	9	3° informe de insumos	27 de septiembre de 2017 - 17 de diciembre de 2017 y 1 de febrero de 2018 - 28 de febrero de 2018	$ 98.105.454,00

Hasta la fecha se ha pagado un total de $425.123.648, correspondiente al 65% del presupuesto global. El porcentaje restante corresponde al 25% una vez sea revisado, verificado, validado y aprobado por el IDU el presente informe final de la consultoría, y el 10% contra firma del acta de liquidación. Finalmente, en la **Tabla 7** se pueden observar los pagos realizados según cada uno de los informes planteados para las dos etapas del proyecto, uno para el final de la etapa preliminar y 3 para la etapa de ejecución.

G.5.2 PRESUPUESTO PARA LOS INSUMOS

El valor básico de los insumos del contrato es de: QUINIENTOS CINCUENTA Y UN MILLONES SETECIENTOS SESENTA MIL PESOS M/CTE (551.760.000). Como soporte del anterior monto, se presenta en la **Tabla 8**, la relación de los pagos realizados en cada uno de los informes de insumos (ensayos y muesteos) de la etapa de ejecución .

Tabla 8. Pagos de informes de insumos

ACTA No	No DE PAGO	REQUERIMIENTO	PERIODO DE EJECUCIÓN	VALOR
5	2	1° informe de insumos	27 de abril de 2017 – 26 de mayo de 2017	$ 10.946.008,00
6	3	2° informe de insumos	27 de mayo de 2017 – 26 de junio de 2017	$ 37.131.995,00
7	4	3° informe de insumos	27 de junio de 2017 – 26 de julio de 2017	$ 2.378.761,00
8	5	4° informe de insumos	27 de julio de 2017 – 26 de agosto de 2017	$ 20.883.853,00
9	6	5° informe de insumos	27 de agosto de 2017 – 26 de septiembre de 2017	$ 17.396.073,00
10	7	6° informe de insumos	27 de septiembre de 2017 - 26 de octubre de 2017	$ 56.628.319,00
		7° informe de insumos	27 de octubre de 2017 - 26 de noviembre de 2017	
14	8	8° informe de insumos	27 de noviembre de 2017 - 12 de diciembre de 2017	$ 88.261.762,00
		9° informe de insumos	1 de febrero de 2018 - 28 de febrero de 2018	
15	9	10° informe de insumos	1 de marzo de 2018 - 31 de marzo de 2018	$ 72.469.789,00
16	10	11° informe de insumos	1 de abril de 2018 - 30 de abril de 2018	$ 180.199.160,00
18	11	12° informe de insumos	1 de mayo de 2018 - 30 de mayo de 2018	$ 65.385.282,00

Una vez terminada la ejecución de ensayos de campo y laboratorio, y la adquisición de materiales, representada en los 12 informes mensuales de insumos revisado y aprobado por el IDU, se tiene un consumo de la bolsa de ítems a ejecutar por precios unitarios del 99.99% correspondiente a un valor de $551.681.002, que refleja el cumplimiento del plan de ensayos y de muestreo adelantado.

G.6 GARANTÍAS

Dando cumplimiento a la cláusula decima quinta *"Garantías"*, se muestran a continuación la información de las garantías adquiridas.

CUMPLIMIENTO DEL CONTRATO
Póliza No. 38169 Anexo 4

Expedida por: JMALUCELLI TRAVELERS SEGUROS S.A.

Ciudad y fecha de expedición: Bogotá, 10/01/2018

Vigencia: Desde 26/01/2017 hasta 10/10/2018

Valor asegurado: $361.738.928.00

Radicado IDU de aprobación: 20185260031042

PAGO DE SALARIOS, PRESTACIONES SOCIALES LEGALES E INDEMNIZACIONES AL PERSONAL
Póliza No. 38169

Expedida por: JMALUCELLI TRAVELERS SEGUROS S.A.

Ciudad y fecha de expedición: Bogotá, 10/01/2018

Vigencia: Desde el 26/01/2017 hasta 10/06/2021

Valor asegurado: $120.579.643.00

Radicado IDU de aprobación: 20185260031042

CALIDAD DE SERVICIOS
Póliza No. 38169

Expedida por: JMALUCELLI TRAVELERS SEGUROS S.A.

Ciudad y fecha de expedición: Bogotá, 10/01/2018

Vigencia: Desde el 26/01/2017 hasta 10/06/2021

Valor asegurado: $361.738.928.00

Radicado IDU de aprobación: 20185260031042

RESPONSABILIDAD CIVIL EXTRACONTRACTUAL
Póliza No. 38171

Expedida por: JMALUCELLI TRAVELERS SEGUROS S.A.

Ciudad y fecha de expedición: Bogotá 26/12/2017

Vigencia: Desde 18/12/2017 hasta 10/06/2018

Valor asegurado: $221.315.100.00

Radicado IDU de aprobación: 20185260008002

H. DESARROLLO DE LA CONSULTORÍA

H.1 RECOPILACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DOCUMENTAL

Durante la etapa preliminar se realizó la recopilación y revisión de especificaciones, manuales, cartillas, guias y especificaciones técnicas, para el control de materiales y construcción, con el propósito de soportar la acción a realizar sobre el tipo de intervensión definido sobre los capítulos y secciones, es decir, complementar, generar, actualizar o complementar.

Es asi como se realiza el análisis de información mediante la comparación de:

- Normas de ensayo: INV 2007 – INV 2013
- Especificaciones técnicas: IDU 20005 – IDU 2011
- Especificaciones técnicas: IDU 2011 – INV 2007
- Especificaciones técnicas: IDU 2011 – INV 2013
- Especificaciones técnicas IDU con otras especificaciones y manuales técnicos (AASHTO, ASTM, PG, NSR, NTC, UNE, FHWA, CCP-14, CSIRO y GEAR)

Lo anterior, se encuentra en el ANEXO 1 – INFORMACIÓN DOCUMENTAL

H.1.1 MESAS DE TRABAJO

Dando cumplimiento a lo establecido en el numeral 6.1.2.3.3, referente a la obtención de información de experiencias de la aplicación de las Especificaciones Técnicas IDU ET 2011 con los gremios asociados a la infraestructura vial y espacio publico de la cuidad, durante la etapa de etapa de ejecución en diferentes mesas de trabajo, adelantadas en las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana y en presencia de profesionales de

apoyo a la supervisión del Instituto de Desarrollo Urbano, que son relacionadas a continuación:

- **Asociación Colombiana de Productores de Concreto – ASOCRETO.**

Durante el proyecto se realizaron nueve (9) mesas de trabajo con los productores de concreto hidráulico y aditivos vinculados a ASOCRETO, con la finalidad de revisar y recolectar las experiencias de aplicación de la especificación 600-11 "Pavimento de losas de concreto hidráulico". A continuación, se relacionan las fechas en las que se adelantaron las mesas de trabajo:

- 6 de junio de 2017
- 13 de junio de 2017
- 28 de junio de 2017
- 11 de julio de 2017
- 25 de julio de 2017
- 8 de agosto de 2017
- 22 de septiembre de 2017
- 12 de octubre de 2017

Adicionalmente, se adelantaron mesas de trabajo para recopilar experiencias con la aplicación a la Especificación 420-11 "Capas de material granular estabilizado con cemento", y consideraciones a tener en cuenta para las Especificaciones generadas relacionadas con el uso de cemento hidráulico en mejoramientos y estabilizaciones de materiales, es asi como fueron realizadas en las fechas relacionadas a continuación:

- 15 de marzo de 2018
- 5 de abril de 2018
- 31 de mayo de 2018

- **Productores de materiales asfálticos**

Con el propósito de tratar la experiencia de aplicación de las Especificaciones 200-11 "Cemento asfáltico" y 202-11 "Cemento asfáltico modificado con polímeros" se realizó una (1) mesa trabajo en el mes de octubre de 2017, con la asistencia de Incoasfaltos, Multinsa y MPI.

- **Productores de Geostintéticos**

Con el propósito de recopilar aportes a las Especificaciones generadas relacionadas con la aplicación de geotextiles, geoceldas y geomallas en la estructura del pavimento, durante el proyecto se realizó una (1) mesa de trabajo en el mes de marzo de 2018, con la asistencia de PAVCO, Geomatrix, Syntex y TDM.

- **Asociación Colombiana de Corrosión y Protección - ASCOR**

Durante el proyecto se realizaron siete (7) mesas de trabajo con la Asociación Colombiana de Corrosión y Protección, para recibir consideraciones a tener en cuenta en las Especificaciones generadas relacionadas con Obras varias para estructuras de puentes vehiculares y peatonales, en las siguientes sesiones:

- 9 de junio de 2017
- 15 de junio de 2017
- 22 de junio de 2017
- 4 de julio de 2017
- 11 de julio de 2017
- 8 de agosto de 2017
- 24 de agosto de 2017

- **Asociación Colombiana de Soldadura y Ensayos no Destructivos – ACOSEND**

Con el propósito de recopilar aportes a las Especificaciones generadas relacionadas con Obras varias para estructuras de puentes vehiculares y peatonales, durante el proyecto se realizó una (1) mesa de trabajo el 17 de julio de 2017, con ACOSEND.

- **Taller del espacio público – Secretaria Distrital de Planeación**

Durante la ejecución del contrato se realizaron mesas de trabajo con el taller del espacio público para recibir consideraciones a tener en cuenta en las Especificaciones a generar relacionadas con espacio público. Las seis (6) mesas de trabajo fueron desarrolladas:

- 16 de junio de 2017
- 22 de junio de 2017
- 5 de julio de 2017
- 14 de agosto de 2017
- 14 de septiembre de 2017
- 17 de octubre de 2017

- **Academia**

Durante el proyecto fue realizada una (1) mesa de trabajo con docentes de Universidades el día jueves 6 de julio de 2017, con el propósito de recopilar aportes a las Especificaciones Técnicas IDU ET 2011 relacionadas con materiales bituminosos y mezclas asfálticas, con la asistencia de la Universidad Militar Nueva Granada, Universidad del Norte y Universidad Nacional.

H.2 MUESTREO REALIZADO DURANTE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

El presente capítulo consta de 4 partes fundamentales las cuales se enuncian a continuación:

1. Plan de muestreo
2. Gestiones y muestreos
3. Balance de materiales muestreados
4. Informes de muestreo de materiales

H.2.1 PLAN DE MUESTREO

Para la evaluación de materiales mediante la realización de ensayos de campo y laboratorio, durante la etapa preliminar fue definido de menera conjunta entre el Instituto y los especialistas, el número de muestras de cada fuente y la procedencia de los materiales obtenidos de obras en ejecución y otros proveedores, para ser evaluados mediante la realización de ensayos de campo y laboratorio. El plan en mención se encuentra en el Anexo 2.1 del presente informe.

A continuación, se exponen los cambios realizados al plan de muestreo presentado en la etapa preliminar con respecto a lo realizado en la etapa de ejecución. Es importante resaltar que se realizó la actualización del plan de muestreo debido a la necesidad de modificación especificada en el numeral 6.1.2 del Anexo Técnico Separable del proyecto, la cual se adelantó en mesas de trabajo en común acuerdo entre el IDU y el equipo de especialistas de la Universidad.

Se van a presentar cinco (5) tablas para cada uno de los siguientes grupos de materiales:

- Materiales básicos
- Agregados
- Concreto
- Paneles de pisos para puentes peatonales prototipo para Bogotá
- Muestras fabricadas en laboratorio

H.2.1.1 Materiales básicos

Para de los materiales básicos que se establecieron utilizar en el proyecto como soporte para la generación, actualización o complementación de capítulos y secciones de las especificaciones técnicas generales, se presentan los cambios en la Tabla 9.

Tabla 9. Cambios en el plan de muestreo para los materiales básicos

Material			Cantidad de fuentes			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	**Plan de muestreo etapa de ejecución**	**Control de cambios**	**Plan de muestreo etapa preliminar**	**Plan de muestreo etapa de ejecución**	**Control de cambios**	
Materiales básicos						
Suelos de subrasante	Suelos de subrasante	Igual	3	2	Cambio de cantidad	Inicialmente se planteó el muestreo de material en 3 obras en ejecución que se encontraran a cargo del IDU, pero por disponibilidad de material finalmente se definió obtener material solamente de 2 fuentes las cuales fueron: *Ciclorruta Calle 116 entre Carreras 13 y 15 *Av Bosa entre Av Agoberto Mejía y Av Ciudad de Cali
Cemento puzolánico	Cemento hidráulico	Cambio de nombre	3	3	Igual	Se realizó el cambio del nombre de los cementos a utilizar debido a que el cemento hidráulico también se utilizó para realizar el suelo cemento del proyecto. Las 3 fuentes de las cuales se obtuvieron estos cementos fueron: *Planta de cemento Argos, Puente Aranda *Holcim Concretos - Puente Aranda *Holcim Concretos - Puente Aranda

Material			Cantidad de fuentes			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
Cal	Cal	Igual	3	3	Igual	Los 3 proveedores de la cal muestreada fueron: *Corona *Calco *Procecal
Grano de Caucho Reciclado (GCR)	Grano de Caucho Reciclado (GCR)	Igual	3	3	Igual	Los 3 proveedores de la cal muestreada fueron: *CTU Compañía de trabajos Urbano Km. 17+200 Carretera Central del Norte *Planta Multinsa - Carrera 19a #73-65, Barrio La Libertad, Barrancabermeja, Santander *IB-Marketing - Autopista Norte a 50 m del Autódromo de Tocancipá
Rajón	Rajón	Igual	3	2	Cambio de cantidad	Inicialmente se planteó el muestreo de material en 3 obras en ejecución que se encontraran a cargo del IDU, pero por disponibilidad de material finalmente se definió obtener material solamente de 2 fuentes las cuales fueron: *Av San Antonio Calle 183 N° 15 *Avenida Rincón Tabor (Calle 132 con Avenida Ciudad de Cali)
Emulsión asfáltica obtenida en planta	Emulsión asfáltica obtenida en planta	Igual	3	3	Igual	Se muestrearon emulsiones de rompimiento lento, medio y alto de la

Material			Cantidad de fuentes			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
						planta IncoAsfaltos, Km 3 Vía Balsillas. Sector Vista Hermosa
Emulsión asfáltica obtenida en obra (obras en ejecución)		Eliminado	3		Eliminado	Inicialmente se tenía planteado muestrear materiales en obra para realizar un control de calidad pero este no es el objeto del proyecto por lo tanto fue eliminado.
Cemento asfáltico convencional (60/70)	Cemento asfáltico convencional (60/70)	Igual	3	3	Igual	Las 3 plantas de las cuales se obtuvo este cemento fueron: *Planta de Concrescol Av Boyacá N° 80-10 sur *Planta HUMBERTO QUINTERO O y CÍA S.C.A. Kilómetro 30 Vía Barrancabermeja - Bucaramanga Sector de Lizama *Planta IncoAsfaltos, Km 3 Vía Balsillas. Sector Vista Hermosa
Cemento asfáltico modificado con polímeros	Cemento asfáltico modificado con polímeros (Tipo V y Tipo II)	Cambio de nombre	3	6	Cambio de cantidad	Inicialmente se tenía planteado realizar el muestreo de solamente un tipo de cemento asfáltico modificado con polímeros, pero finalmente se muestrearon el Tipo II y Tipo V debido a su importante uso en el mercado. Para los dos tipos de cemento asfático

Material			Cantidad de fuentes			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
						modificado con polímeros, las fuentes fueron: *Planta HUMBERTO QUINTERO O y CÍA S.C.A. Kilómetro 30 Vía Barrancabermeja - Bucaramanga Sector de Lizama *Planta IncoAsfaltos, Km 3 Vía Balsillas. Sector Vista Hermosa *Planta MPI, Cra 19 No 72 - 46 Barrancabermeja
	Cemento asfáltico modificado de penetración 40/50	Nuevo		3	Nuevo	Se adicionó este material debido a que aún se utiliza en las vías de la ciudad. Las 3 fuentes de este material fueron: *Planta HUMBERTO QUINTERO O y CÍA S.C.A. Kilómetro 30 Vía Barrancabermeja - Bucaramanga Sector de Lizama *Planta IncoAsfaltos, Km 3 Vía Balsillas. Sector Vista Hermosa *Planta MPI, Cra 19 No 72 - 46 Barrancabermeja

Material			Cantidad de fuentes			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
Cemento asfáltico modificado con GCR	Cemento asfáltico modificado con GCR	Igual	3	3	Igual	Las 3 fuentes de este material fueron: *Planta HUMBERTO QUINTERO O y CÍA S.C.A. Kilómetro 30 Vía Barrancabermeja - Bucaramanga Sector de Lizama *Planta IncoAsfaltos, Km 3 Vía Balsillas. Sector Vista Hermosa *Planta Multinsa - Carrera 19a #73-65, Barrio La Libertad, Barrancabermeja, Santander
Cemento Asfáltico extraído de mezcla asfálticas (obras ejecutadas y en ejecución)		Eliminado	3		Eliminado	Se eliminó este material debido a que el enfoque del estudio realizado en la universidad fue modificado hacia los cementos asfálticos obtenidos en planta y los cuales están siendo utilizados para las vías en la ciudad.
Cemento Asfáltico extraído de RAP		Eliminado	3		Eliminado	Se eliminó este material debido a que el enfoque del estudio realizado en la universidad fue modificado hacia los cementos asfálticos obtenidos en planta y los cuales están siendo utilizados para las vías en la ciudad.

H.2.1.2 Agregados

Dentro del capítulo se presentan la comparación de los agregados inicialmente propuestos para muestrear en la etapa preliminar y los que finalmente se realizaron en la etapa de ejecución con su respectiva razón de cambio. Es importante resaltar que en la **Tabla 10** se tienen en cuenta tanto agregados naturales como agregados obtenidos de RCD.

Tabla 10. Cambios en el plan de muestreo para los agregados

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	**Plan de muestreo etapa de ejecución**	**Control de cambios**	**Plan de muestreo etapa preliminar**	**Plan de muestreo etapa de ejecución**	**Control de cambios**	
Agregados						
Agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de cantera	Agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de cantera	Igual	3	3	Igual	Se muestrearon los siguientes materiales: *Base granular Tipo A de la planta Pavimentos Colombia - Puente Río Tunjuelito-La Paz *Base granular Tipo C de la planta de TEQUIA Y CIA SAS - Cra 6 No 15-38 *Subbase granular Tipo C de la planta de TEQUIA Y CIA SAS - Cra 6 No 15-38
Agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra (obras en ejecución)	Agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra (obras en ejecución)	Igual	3	4	Cambio de cantidad	Hubo un cambio en la cantidad debido que inicialmente se habían planteado 3 tipos de bases pero el especialista definió que era mejor muestrear 2 tipos de bases y 2 tipos de subbases que se encuentren en el mercado. Por lo cual se muestrearon los siguientes

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
						materiales *Base granular Tipo A obtenida de la Av Ciudad de Cali desde Av Bosa hasta Av San Bernardino *Base granular Tipo C obtenida de la Av Ciudad de Cali desde Av Bosa hasta Av San Bernardino *Subbase granular Tipo A obtenida de la Av Ciudad de Cali desde Av Bosa hasta Av San Bernardino * Subbase granular Tipo C obtenida de la Avenida Rincón Tabor (Calle 132 con Avenida Ciudad de Cali)
	Agregados pétreos para bases y subbases obtenido de RAP	Nuevo		2	Nuevo	Debido a que en la ciudad se ha implementado el uso de estos agregados, se decidieron adicionar en el plan de muestreo. Por lo anterior, las fuentes de las cuales se muestreó este material fueron: *Patio de fresado IDU, Cra 69 # 75 *Planta de producción de Unidad de Mantenimiento Vial. Km 3 vía a Pasquilla

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
	Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)	Nuevo		1	Nuevo	El especialiasta definió que era importante realizar este muestreo por ser un material nuevo en obra. Por lo tanto este materiale fue: *Subbase granular Tipo A + fresado 80%20% obtenida de Av Bosa entre Av Agoberto Mejía y Av Ciudad de Cali

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
Agregados pétreos para Mezclas Asfálticas obtenidos en canteras	Agregados pétreos para Mezclas Asfálticas obtenidos en canteras	Igual	3	11	Cambio de cantidad	Inicialmente se tenía planteado realizar el muestreo de 1 tipo de agregado en 3 diferentes plantas, pero el especialista definió que era mejor realizar el muestreo de 4 materiales por 3 tipos de plantas. Lo anterior se vió afectado por la producción de las plantas debido a la falta de 1 material en una planta, por lo tanto los materiales muestrados fueron: *Arena triturada Coello obtenida de la Planta de Concrescol Av Boyacá N° 80-10 sur *Grava 1/2" Guayuriba obtenida de la Planta de Concrescol Av Boyacá N° 80-10 sur *Grava 1" Guayuriba obtenida de la Planta de Concrescol Av Boyacá N° 80-10 sur *Grava 3/4" Guayuriba obtenida de la Planta de Concrescol Av Boyacá N° 80-10 sur *Arena de trituración de Río Guayuriba de la cantera de CTU Compañía de trabajos Urbano Km. 17+200 Carretera

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
						Central del Norte *Grava triturada 1/2", de Vereda Fusca de la cantera de CTU Compañía de trabajos Urbano Km. 17+200 Carretera Central del Norte *Grava triturada 1" de la cantera de CTU Compañía de trabajos Urbano Km. 17+200 Carretera Central del Norte *Grava triturada 3/4"de la cantera de CTU Compañía de trabajos Urbano Km. 17+200 Carretera Central del Norte *Arena de río, puente garvanzal de la Planta ICM Ingenieros - Planta Vereda Balsillas km 3, Mosquera, Cundinamarca *Grava 1/2 " de la Planta ICM Ingenieros - Planta Vereda Balsillas km 3, Mosquera, Cundinamarca *Grava 3/4 " de la Planta ICM Ingenieros - Planta Vereda Balsillas km 3, Mosquera, Cundinamarca *Grava 1/2 " de la Planta ICM Ingenieros

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
Agregados pétreos para Mezclas Asfálticas obtenidos en obra (obras en ejecución)		Eliminado	3		Eliminado	Inicialmente se tenía planteado muestrar los agregados que se encontraban en las mezclas para realizar un control de calidad pero el objeto del proyecto no era este.
Agregados pétreos para Mezclas Asfálticas obtenidos de RAP		Eliminado	3		Eliminado	Inicialmente se tenía planteado muestrar los agregados que se encontraban en las mezclas para realizar un control de calidad pero el objeto del proyecto no era este.
Agregados pétreos para concreto hidráulico obtenido en cantera		Eliminado	3		Eliminado	Inicialmente se tenía planteado realizar el muestreo de los agregados para realizar el concreto en el laboratorio, pero esto fue modificado para muestrear el concreto de las plantas directamente debido a que es el material que se utiliza en obra.

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
Residuos de Construcción y Demolición	Residuos de Construcción y Demolición	Igual	27	29	Cambio de cantidad	Inicialmente se tenía planteado realizar el muestreo en tres diferentes temporalidades de 3 diferentes materiales obtenidos de 3 diferentes fuentes, para un total de 27 materiales. Luego se decidió realizar el muestreo de 2 diferentes fuentes, debido a la disponibilidad de materiales. Para la primera temporalidad se muestrearon 6 materiales de dos fuentes, de estos 6 materiales la especialista determinó los 3 materiales más usados para seguir con el muestreo en la segunda y tercera temporalidad. La cantidad de la primera temporalidad fue modificada debido a la posibilidad de muestrar otros

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
						materiales tanto de cantera como de obras en ejecución. Para la primera temporalidad los materiales muestreados fueron: **Obras en ejecución** *Base granular Tipo A obtenida de Av San Antonio Calle 183 N° 15 *Subbase granular Tipo C obtenida de Calle 17 sur entre 9-10 *Subbase granular Tipo C obtenida de Av San Antonio Calle 183 N° 15 *Subbase granular Tipo C obtenida de

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
						Planta de Ciclomat Carrera 16 N° 134 A -21 **Cantera** *Base granular B-200 obtenida de la Cantera de escombros RECICLADOS INDUSTRIALES km 1,5 - Costado Sur Vía Bogotá Siberia *Base granular B-400 obtenida de la Cantera de escombros RECICLADOS INDUSTRIALES km 1,5 - Costado Sur Vía Bogotá Siberia *Base granular B-600 obtenida de la Cantera de escombros RECICLADOS INDUSTRIALES km 1,5 - Costado Sur Vía Bogotá Siberia *Base granular tipo A-B obtenida de la Cantera de escombros RECICLADOS INDUSTRIALES km 1,5 - Costado Sur Vía Bogotá Siberia *Subbase granular tipo A-B obtenida de la Cantera de escombros RECICLADOS INDUSTRIALES km 1,5 - Costado Sur

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
						Vía Bogotá Siberia *Subbase granular tipo C obtenida de la Cantera de escombros RECICLADOS INDUSTRIALES km 1,5 - Costado Sur Vía Bogotá Siberia *Base granular Tipo A obtenida de la cantera GRECO km 1,5 Puente de Guadua vía Bogotá Medellín Costado sur *Subbase granular Tipo A obtenida de la Planta de Ciclomat Carrera 16 N° 134 A -21 Para la segunda temporalidad los materiales muestreados fueron: *Base granular Tipo A obtenida de la Cantera de escombros RECICLADOS INDUSTRIALES km 1,5 - Costado Sur Vía Bogotá Siberia *Subbase granular Tipo A obtenida de la Cantera de escombros RECICLADOS INDUSTRIALES km 1,5 - Costado Sur Vía Bogotá Siberia *Subbase granular Tipo C obtenida de la

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
						Cantera de escombros RECICLADOS INDUSTRIALES km 1,5 - Costado Sur Vía Bogotá Siberia *Base granular Tipo A 0-25 H obtenida de la Cantera GRECO km 1,5 Puente de Guadua vía Bogotá Medellín Costado sur *Subbase granular Tipo A obtenida de la Planta de Ciclomat Carrera 16 N° 134 A -21 *Subbase granular Tipo C obtenida de la Planta de Ciclomat Carrera 16 N° 134 A -21 Para la tercera temporalidad los materiales muestreados fueron: *Base granular Tipo A obtenida de la Cantera de escombros RECICLADOS INDUSTRIALES km 1,5 - Costado Sur Vía Bogotá Siberia *Subbase granular Tipo A obtenida de la Cantera de escombros RECICLADOS INDUSTRIALES km 1,5 - Costado Sur Vía Bogotá Siberia

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
						*Subbase granular Tipo C obtenida de la Cantera de escombros RECICLADOS INDUSTRIALES km 1,5 - Costado Sur Vía Bogotá Siberia *Base granular Tipo A 0-40 H obtenida de la Cantera GRECO km 1,5 Puente de Guadua vía Bogotá Medellín Costado sur *Subbase granular Tipo A obtenida de la Planta de Ciclomat km 1,5 Puente de Guadua vía Bogotá Medellín Costado sur *Subbase granular Tipo C obtenida de la Planta de Ciclomat Carrera 16 N° 134 A -21

H.2.1.3 Concreto

Dentro de la Tabla 11 que se encuentra en el capítulo actual, se presentan la comparación de los concretos inicialmente propuestos para muestrear en la etapa preliminar y los que finalmente se realizaron en la etapa de ejecución con su respectiva razón de cambio.

Tabla 11. Cambios en el plan de muestreo para los concretos

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
Concreto Hidráulico obtenido en planta	Concreto Hidráulico obtenido en planta	Igual	3	3	Igual	Se muestrearon tanto vigas como cilindros de los siguientes tipos de concreto: *Fast track obtenido de la Planta Holcim Colombia Carrera 62 No 19-04 Bodega 5 *Con MR de 4.2 MPa obtenido de la Planta Holcim Concretos - Puente Aranda Cra 62 No 19-04 Interior 5 *Con MR de 4.8 MPa obtenido de la Planta Holcim Concretos - Puente Aranda Cra 62 No 19-04 Interior 5
Concreto Hidráulico obtenido en sitio		Eliminado	3		Eliminado	En la etapa de ejecución se decidió hacer solamente controles a los materiales que las plantas estaban entregando en las obras y no a los materiales envejecidos.

H.2.1.4 Paneles de pisos para puentes peatonales prototipo para Bogotá

Dentro de la Tabla 12 que se encuentra en el capítulo actual, se presentan la comparación de los materiales para puente peatonales inicialmente propuestos para muestrear en la etapa preliminar y los que finalmente se realizaron en la etapa de ejecución con su respectiva razón de cambio.

Tabla 12. Cambios en el plan de muestreo para los materiales para puente peatonales

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	**Plan de muestreo etapa de ejecución**	**Control de cambios**	**Plan de muestreo etapa preliminar**	**Plan de muestreo etapa de ejecución**	**Control de cambios**	
Paneles de pisos para puentes peatonales prototipo para Bogotá						
Materiales para piso Estaciones TM (páneles sintéticos)	Pisos de material sintético	Cambio de nombre	1	1	Igual	El cambio del nombre de los materiales se fue realizando a través del proyecto hasta llegar al más adecuado para la aplicación que se va a dar según las nuevas especificaciones planteadas. Estos materiales fueron obtenidos de la Fábrica MADERPLAST S.A.
Materiales para piso Estaciones TM (perfiles de aluminio)	Pisos de aluminio	Cambio de nombre	1	1	Igual	El cambio del nombre de los materiales se fue realizando a través del proyecto hasta llegar al más adecuado para la aplicación que se va a dar según las nuevas especificaciones planteadas. Estos materiales fueron obtenidos de la Fábrica Aluica.
Materiales para piso Estaciones TM (losetas prefabricadas)	Pisos de concreto	Cambio de nombre	1	1	Igual	El cambio del nombre de los materiales se fue realizando a través del proyecto hasta llegar al más adecuado para la aplicación que se va a dar según las nuevas especificaciones planteadas. Estos materiales fueron obtenidos de TITÁN Manufactureras de cemento S.A.

H.2.1.5 Muestras fabricadas en el laboratorio

Dentro de la Tabla 13 que se encuentra en el capítulo actual, se presentan la comparación de los diseños inicialmente propuestos para realizar en la Universidad en la etapa preliminar y los que finalmente se realizaron en la etapa de ejecución con su respectiva razón de cambio.

Tabla 13. Cambios en el plan de muestreo para las muestras fabricadas en el laboratorio

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
Suelos y Granulares Estabilizados o Mejorados						
Suelos tratados con Cemento, Diseño suelo-cemento	Suelos tratados con Cemento, Diseño suelo-cemento	Igual	1	1	Igual	Inicialmente se planteó realizar un diseño de mezcla con 3 tipos de subrasante y 8 diferentes porcentajes de adición. Finalmente se determinó realizar un diseño con 1 suelo y 5 diferentes porcentajes de adición.
Suelos tratados con Cemento, Verificación del Diseño Óptimo suelo-cemento	Suelos tratados con Cemento, Verificación del Diseño Óptimo suelo-cemento	Igual	1	1	Igual	Inicialmente se planteó realizar la verificaciòn del diseño óptimo encontrado con la falla a 6 diferentes edades del para los 3 tipos de subrasante. Finalmente se determinó realizar un diseño con 1 suelo correspondiente al porcentaje óptimo encontrado en la etapa de diseño suelo-cemento.
Suelos tratados con Cal, Diseño suelo-cal		Eliminado	1		Eliminado	Inicialmente se planteó realizar un diseño de mezcla de 3 tipos de subrasante con 8 diferentes porcentajes de adición, pero este luego fue eliminado debido a que se decidiò en mesas de

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
						trabajo, no realizar pruebas experimentales de este tipo de material.
Suelos tratados con Cal, Verificación del Diseño Óptimo suelo-cal		Eliminado	1		Eliminado	Debido a que se definiò eliminar el diseño de este tipo de diseño su verificaciòn tambièn fue eliminada.
	Base y Subbase Granular mejorada con Cemento hidráulico, Diseño grava cemento	Nuevo		2	Nuevo	Estos se adicionaron por sugerencia del especialista para poder tener en cuenta estos resultados en las nuevas especificaciones. La nueva cantidad corresponde a la realización del diseño de 1 base granular Tipo C y 1 subbase granular Tipo C, obtenidas de la planta de TEQUIA Y CIA SAS - Cra 6 No 15-3, con 5 diferentes porcentajes de adición de cemento obtenido de la Planta de cemento Argos, Puente Aranda.
	Base y Subbase Granular mejorada con Cemento hidráulico, Verificación del Diseño Óptimo	Nuevo		2	Nuevo	Luego de realizar los diseños, se realizaron nuevos ensayos de verificación para los porcentajes óptimos del diseño tanto para la base granular Tipo C como para la subbase granular Tipo C, obtenidas de la planta

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
	grava cemento					de TEQUIA Y CIA SAS - Cra 6 No 15-3.
	Base Granular mejorada con Emulsión Asfáltica, Diseño grava emulsión	Nuevo		2	Nuevo	Estos se adicionaron por sugerencia del especialista, para poder tener en cuenta estos resultados en las nuevas especificaciones. La nueva cantidad corresponde a la realización del diseño de 1 base granular Tipo C y 1 subbase granular Tipo C, obtenidas de la planta de TEQUIA Y CIA SAS - Cra 6 No 15-3, con 5 diferentes porcentajes de adición de emulsión de rotura lenta.
	Base Granular mejorada con Emulsión Asfáltica, Verificación del Diseño Óptimo grava emulsión	Nuevo		2	Nuevo	Luego de realizar los diseños, se realizaron nuevos ensayos de verificación para los porcentajes óptimos del diseño tanto para la base granular Tipo C como para la subbase granular Tipo C, obtenidas de la planta de TEQUIA Y CIA SAS - Cra 6 No 15-3.
	Base Granular mejorada con Cemento Asfáltico, Diseño grava asfalto	Nuevo		2	Nuevo	Estos se adicionaron por sugerencia del especialista, para poder tener en cuenta estos resultados en las nuevas especificaciones. La nueva cantidad corresponde a la realización del diseño de 1 base granular

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
						Tipo C y 1 subbase granular Tipo C, obtenidas de la planta de TEQUIA Y CIA SAS - Cra 6 No 15-3, con 5 diferentes porcentajes de adición de cemento asfáltico convencional obtenido de la Planta de Concrescol.
	Base Granular mejorada con Cemento Asfáltico, Verificación del Diseño Óptimo grava asfalto	Nuevo		2	Nuevo	Luego de realizar los diseños, se realizaron nuevos ensayos de verificación para los porcentajes óptimos del diseño tanto para la base granular Tipo C como para la subbase granular Tipo C, obtenidas de la planta de TEQUIA Y CIA SAS - Cra 6 No 15-3.
Diseño Base granular adicionada con RAP	Verficación del Diseño óptimo Subbase Granular adicionadas con RAP	Cambio de nombre	1	1	Igual	Inicialmente se tenía planteado realizar un diseño para evaluar 3 tipos de RAP con una base granular. Finalmente, el especialista determinó realizar un diseño de mezcla de una subbase granular tipo C obtenida de cantera, con los dos tipos de RAP muestreados.

Material			Cantidad de materiales			Observaciones
Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	Plan de muestreo etapa preliminar	Plan de muestreo etapa de ejecución	Control de cambios	
	Subbase Granular adicionadas con RCD	Nuevo		1	Nuevo	Este nuevo material se adicionó debido al aumento del uso de los agregados de RCD. Los materiales utilizados para este diseño fueron obtenidos de la Cantera de escombros RECICLADOS INDUSTRIALES y fueron los siguientes: *45% subbase granular Tipo 1, 20% grava de trituración y 35% de arena de trituración. *40% subbase granular Tipo 1, 35% grava de trituración y 25% de arena de trituración. *50% subbase granular Tipo 1, 25% grava de trituración y 25% de arena de trituración.

H.2.2 GESTIONES DEL MUESTREO

Para la obtención de los materiales definidos en el Plan de Muestreo relacionados con los proyectos en ejecución y con la Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial, la Dirección Técnica Estratégica realizó la gestión de solicitud con las áreas ejecutoras y supervisoras del Instituto Instituto, para el acercamiento con las Interventorías, y de la UMV, para la obtención del material.

En lo relacionado con los materiales obtenidos de otros proveedores, la Pontificia Universidad Javeriana realizó los acercamientos con cada fuente para la obtención de la cantidad requirida para lo cual los proveedores suministraron sin costo el material con la condición de que la Universidad debía realizar el muestreo y transporte hasta las instalaciones de los Laboratorio de pruebas y ensayos de la facultad de Ingeniería Civil.

H.2.3 BALANCE DE MATERIALES MUESTREADOS

En el Anexo 2.2., se presenta el balance de los 20 tipos de materiales obtenidos relacionados a continuación, con su respectivo informe de muestreo de laboratorio.

- Cemento hidráulico
- Cal
- Grano de caucho reciclado
- Rajón
- Emulsiones asfálticas
- Cementos asfálticos
- Agregados naturales
- Agregados provenientes de Residuos de Construcción y Demolición.
- Mezclas asfálticas
- Concretos hidráulicos
- Materiales alternativos para pisos de puente peatonal prototipo para Bogotá

H.2.4 INFORMES DE MUESTREO DE MATERIALES

A lo largo de la etapa de ejecución, se presentaron informes de muestreo de materiales en los 10 primeros informes mensuales de insumos, que recopilaron una cantidad de 63 informes de laboratorio, los cuales son presentados en el Anexo 2.3.

H.3 ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO

La ejecución de ensayos de campo y laboratorio fue contemplada dentro del desarrollo del contrato, con el propósito de soportar los cambios o permanencia de los valores de propiedades y parámetros establecidos en las actuales Especificaciones Técnicas IDU-ET-2011, a partir de los análisis adelantados por los especialistas correspondientes.

La evaluación de propiedades físicas, químicas, mecánicas y dinámicas de los materiales indicados en el Plan de muestreo, fue realizada mediante procedimientos de ensayo establecidos por entidades nacionales e internacionales, sin embargo, en algunos casos específicos fue necesario el desarrollo de metodologías de ensayo adaptable a los equipos disponibles en el país para la ejecución de ensayos. Es asi como en el Anexo 3.4 se encuentran los procedimientos de ensayo propios aplicables para la ejecución del contrato.

Para ilustrar el trabajo adelantado en materia de ensayos de campo y laboratorio, dentro del presente capítulo consta de 4 partes fundamentales las cuales se enuncian a continuación y luego van a ser desarrolladas:

a. Plan de ensayos
b. Balance de ensayos ejecutados
c. Informes de muestreo de materiales
d. Análisis de resultados de ensayos

H.3.1 PLAN DE ENSAYOS

Con el propósito de realizar la planeación del tipo, cantidad y procedimiento de ensayo, acorde con el presupuesto definido en la bolsa de ensayos del contrato, durante la etapa de ejecución fue realizado por los especialistas el Plan de Ensayos, de tal manera que los ensayos programados permitieran realizar un análisis integral del comportamiendo de los materiales disponibles en las diferentes fuentes definidas en el Plan de muestreo expuesto en el numeral.H.2.1

El Plan de Ensayos aprobado durante la etapa preliminar se encuentra en el Anexo 3.1.

Adicional a lo anterior, conforme a lo estipulado en el el numeral 6.1.2 del Anexo Técnico Separable, referente a la actualización del Plan de ensayos en común acuerdo entre el Instituto y el consultor, atendiendo las necesidades justificadas tratadas por los especialistas fue realizada la actualización del Plan de ensayos mediante mesas de trabajo adelantadas. Es asi, como estas modificaciones fueron adelantadas durante la etapa de ejecución, hasta alcanzar la versión final que se presenta en el Anexo 3.1.
A continuación, son expuestas las modificaciones realizadas al Plan de ensayos aprobado durante la etapa preliminar y su versión final, con la respectiva justificación del cambio realizado por tipo de material.

H.3.1.1 Materiales básicos

Dentro de los materiales básicos que se establecieron utilizar en el proyecto como soporte para la generación, actualización o complementación de capítulos y secciones de las especificaciones técnicas generales se presentan:

- Suelos de subrasante
- Cemento hidráulico
- Cal
- Grano de Caucho Reciclado (GCR)
- Rajón
- Emulsión asfáltica
- Cemento asfáltico convencional (60/70)
- Cemento asfáltico modificado con polímeros (Tipo V y Tipo II)

- Cemento asfaltico modificado de penetración 40/50
- Cemento asfaltico modificado con GCR

A continuación, se va a realizar una descripción de los ensayos y cantidades programados en el plan de ensayos para cada uno de los materiales básicos.

H.3.1.1.1 Suelos de subrasante

Una vez analizados los resultados obtenidos a los ensayos de suelos de subrasante del Plan de Muestreo, se concluye que el material obtenido del proyecto en ejecución de la Ciclorruta ubicada en la calle 116, había sido previamente estabilizado con un material cementante hidrualico, por tanto, no puede ser objeto de una nueva estabilización. Dado lo anterior es descartado el material en mención.

A partir de la eliminación de la subrasante de la Ciclorruta de la calle 116, fueron modificadas las cantidades de ensayos inicialmente programados para los demás materiales de subrasante obtenidos de proyectos en ejecución, de un total de 54 repeticiones de ensayo a 43. En la **Tabla 14** se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para el material de subrasante

Tabla 14. Control de cambios en plan de ensayos para Subrasante

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Toma de muestras inalteradas	INV E-104-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó del plan de ensayos debido a que en mesas técnicas se determinó tener en cuenta este item dentro del muestreo.
Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición			INV E-121-13	4	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado			INV E-122-13	4	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por tamizado)	INV E-123-13	3	INV E-123-13	4	Igual	Cambio de cantidad	El cambio en la cantidad se debió a la cantidad de material que se pudo muestrear de obras en ejecución.
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por hidrómetro)	INV E-123-13	3					
Determinación del límite líquido de los suelos	INV E-125-13	3	INV E-125-13	4	Igual	Cambio de cantidad	El cambio en la cantidad se debió a la cantidad de material que se pudo muestrear de obras en ejecución.
Límite plástico e índice de plasticidad	INV E-126-13	3	INV E-126-13	4	Igual	Cambio de cantidad	El cambio en la cantidad se debió a la cantidad de material que se pudo muestrear de obras en ejecución.
Índice de Contracción	INV E-127-13	3	INV E-127-13	2	Igual	Cambio de cantidad	El cambio en la cantidad se debió a la cantidad de material que se pudo muestrear de obras en ejecución.
Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua			INV E-128-13	4	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Ph y Alcalinidad	INV E-131-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminò el ensayo debido a que este no es parámetro fundamental para realizar la caracterización del suelo.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación de suelos expansivos (Expansión libre en consolodómetro)			INV E-132-07 método B	1	Nuevo	Nuevo	Cambió la norma del ensayo "Determinación de suelos expansivos (Expansión libre en consolidómetro)", de INV E-132-13 a INV E-132-07 método B, debido a que esta es la norma que corresponde a la medición por medio de consolidómetro.
Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos	INV E-141-13 INV E-142-13	3	INV E-141-13	1	Cambio de norma	Cambio de cantidad	Se adicionó el ensayo de Relación de humedad - Masa unitaria seca en los suelos (Ensayo Normal de Compactación) INV E 141-13, debido a que es importante conocer esta propiedad del material para poder realizar luego la estabilización con cemento. Adicionalmente la cantidad es de uno (1) debido a que se realiza solamente para la subrasante obtenida de la Av. Bosa.
CBR (con expansión volumétrica)	INV E-148-13	3	INV E-148-13	6	Igual	Igual	
CBR sobre muestra inalterada	INV E-148-13	3					
Compresión inconfinada en muestras de suelos	INV E-152-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó debido a que el resultado de este ensayo no era contundente para el análisis a realizar por el especialista.
Módulo Resiliente	INV E-156-13	3	INV E-156-13	4	Igual	Cambio de cantidad	El cambio en la cantidad se debió a la cantidad de material que se pudo muestrear de obras en ejecución.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Relación de soporte del suelo en el terreno (CBR in situ)	INV E-169-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación del contenido aproximado de materia orgánica	INV E-212-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio - solidez (5 ciclos); aplica a granulares utilizados en la estabilizadas de la subrasantes	INV E-220-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Valor de azul de metileno en agregados finos y en llenante mineral	INV E-235-13	3	INV E-235-13	4	Igual	Cambio de cantidad	El cambio en la cantidad se debió a la cantidad de material que se pudo muestrear de obras en ejecución.
Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada)			EN 12697-24	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Calidad del Agua	-	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Durabilidad (humedecimiento y secado)	-	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

H.3.1.1.2 Cemento hidráulico

Tal y como fue indicado en el Plan de muestreo, el material cementante hidráulico objeto de la realización de ensayos es de resistencias altas y tempranas. La cantidad de repeticiones de ensayo fue modificada de 12 a 18, por la adición de ensayos de campo y laboratorio sugeridos. En la Tabla 15 se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para el cemento hidráulico.

Tabla 15. Control de cambios en plan de ensayos para Cemento hidráulico

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	INV E-213-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación de tamaño de partícula por difracción laser de 0,1 a 1000 µm (por vía húmeda)			ISO 13320:2013	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Método para determinar la finura del cemento hidráulico por medio del aparato Blaine de permeabilidad al aire	INV E-302-07 NTC 33	3	INV E-302-07 NTC 33	3	Igual	Igual	
Ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico	INV E-307-13	3	INV E-307-13	3	Igual	Igual	
Método de ensayo para determinar la expansión en autoclave del cemento hidráulico			NTC 107	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico	INV E-310-07	3	NTC 110	3	Cambio de norma	Igual	El cambio de norma realizado se debió a que la norma INV ya no es vigente
Ensayo para determinar tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja de Vicat			NTC 118	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.

H.3.1.1.3 Cal

La cantidad de repeticiones de ensayo fue modificada de 12 a 3, por la eliminación de ensayos. En la **Tabla 16** se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para la cal.

Tabla 16. Control de cambios en plan de ensayos para Cal

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	INV E-213-13	3	INV E-213-13	3	Igual	Igual	
Método para determinar la finura del cemento hidráulico por medio del aparato Blaine de permeabilidad al aire	INV E-302-07	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó el ensayo debido a que este no es parámetro fundamental para realizar la caracterización del suelo, adicionalmente no existe normativa para este tipo de material.
Ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico	INV E-307	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó el ensayo debido a que este no es parámetro fundamental para realizar la caracterización del suelo, adicionalmente no existe normativa para este tipo de material.
Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico	INV E-310-07	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó el ensayo debido a que este no es parámetro fundamental para realizar la caracterización del suelo, adicionalmente no existe normativa para este tipo de material.

H.3.1.1.4 Grano de caucho reciclado (GCR)

La cantidad de repeticiones de ensayo fue modificada de 3 a 6, por aumento en la cantidad de repeticiones de una tipología de ensayo.En la **Tabla 17** se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para el grano de caucho reciclado.

Tabla 17. Control de cambios en plan de ensayos para GCR

1.4 Grano de Caucho reciclado (GCR)	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	INV E-213-13	3	INV E-213-13	6	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad de los ensayos es porque el especialista sugirió realizar dos repeticiones del ensayo por cada tipo de material.

H.3.1.1.5 Rajón

La cantidad de repeticiones de ensayo fue modificada de 9 a 4, por la eliminación de una tipología de ensayo, y reducción en la cantidad de repeticiones.

Tabla 18. Control de cambios en plan de ensayos para Rajón

1.7 Rajón	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación de los tamaños de los bloques (medición en campo, rajón)	--	3	Protocolo	2	Cambio de norma	Cambio de cantidad	Se definió la norma de ensayo la cual inicialmente no se encontraba definida Adicionalmente, el cambio de cantidad se debió al número de fuentes de las cuales se pudo extraer el material.
Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles	INV E-218-13	3	INV E-218-13	2	Igual	Cambio de cantidad	El cambio de cantidad se debió al número de fuentes de las cuales se pudo extraer el material.
Gravedad específica y absorción de agregados gruesos	INV E-223-13	3			Eliminado	Eliminado	

H.3.1.1.6 Emulsión asfáltica

Es importante aclarar que en el Plan de ensayos de la etapa preliminar se tenía contemplado realizar muestreo de emulsiones asfálticas obtenidas de obras en ejecución lo cual no se pudo ejecutar.

Tal y como fue indicado en el Plan de muestreo, la emulsión asfáltica objeto de la realización de ensayos es obtenido de plantas. La cantidad de repeticiones de ensayo fue modificada de 48 a 27, por la eliminación de procedimientos de ensayo. en la **Tabla 19** se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para la emulsión asfáltica.

Tabla 19. Control de cambios en plan de ensayos para Emulsión asfáltica

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Contenido de Asfalto Residual	INV E-732-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Contenido de agua en una emulsión asfáltica	INV E-761-13	3	INV E-761-13	3	Igual	Igual	
Destilación de emulsiones asfálticas	INV E-762-13	3	INV E-762-13	3	Igual	Igual	
Viscosidad Saybolt Furol a 25° C	INV E-763-13	3	INV E-763-13	3	Igual	Igual	
Viscosidad Saybolt Furol a 50° C		3		3		Igual	
Sedimentación y estabilidad de las emulsiones asfálticas durante el almacenamiento (Prueba de Zenke)	INV E-764-13	3	INV E-764-13	3	Igual	Igual	
Tamizado de las emulsiones asfálticas	INV E-765-13	3	INV E-765-13	3	Igual	Igual	
Demulsibilidad de las emulsiones asfálticas	INV E-766-13	3	INV E-766-13	3	Igual	Igual	
Identificación de las emulsiones asfálticas catiónicas mediante la determinación de la carga de las partículas	INV E-767-13	3	INV E-767-13	3	Igual	Igual	
pH de las emulsiones asfálticas	INV E-768-13	3	INV E-768-13	3	Igual	Igual	

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Cubrimiento y resistencia al desplazamiento por el agua de las emulsiones asfálticas	INV E-769-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Con agregado seco	INV E-769-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Con agregado seco y acción del agua	INV E-769-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Con agregado húmedo	INV E-769-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Con agregado húmedo y acción del agua	INV E-769-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Ensayo de mezcla con cemento de las emulsiones asfálticas.	INV E-770-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

H.3.1.1.7 Cemento asfáltico convencional

La cantidad de repeticiones de ensayo no fue modificada para el asfalto original y después de ser sometida al envejecimiento por RTFO, sin embargo, si fueron modificados los procedimientos de ensayo inicialmente previstos para ejecutar. Referente al asfalto envejecido en PAV, fueron modificadas las cantidades de repeticiones de ensayo de 9 a 15, por la adición de metodologías no previstas inicialmente. En la **Tabla 20** se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para el cemento asfáltico convencional.

Tabla 20. Control de cambios en plan de ensayos para Cemento asfáltico convencional

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Asfalto Original							
Ductilidad de los materiales asfálticos			INV E-702-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó el ensayo para caracterizar el cemento asfaltico original.
Penetración de los materiales bituminosos	INV E-706-13	3	INV E-706-13	3	Igual	Igual	
Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)	INV E-707-13	3	INV E-707-13	3	Igual	Igual	
Puntos de inflamación y de combustión mediante la copa abierta cleveland	INV E-709-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)	INV E-712-13	3	INV E-712-13	3	Igual	Igual	
Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno	INV E – 715 - 13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetros rotacional	INV E-717-13	3	INV E-717-13	3	Igual	Igual	
Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticosmediante el reómetro de corte dinámico (G*, d)			INV E-750-13	3	Nuevo	Nuevo	

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
FTIR	ASTM E2412	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Composición química (SARA)	ASTM D4124	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Asfalto envejecido RTFO							
Penetración de los materiales bituminosos			INV E-706-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron los ensayos para realizar la caracterización de los asfaltos envejecidos por RTFO.
Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)			INV E-707-13	3	Nuevo	Nuevo	
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)			INV E-712-13	3	Nuevo	Nuevo	
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetros rotacional			INV E-717-13	3	Nuevo	Nuevo	
Envejecimiento con RTFO	INV E-720-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (G*, d)	INV E-750-13	3			Eliminado	Eliminado	Se contabiliza solamente una vez en todo el asfalto debido a que el ensayo contempla el original, envejecido por RTFO y PAV.
FTIR	ASTM E2412	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Resistencia Magnética Nuclear (RMN)	-	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Asfalto envejecido PAV							
Penetración de los materiales bituminosos			INV E-706-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron los ensayos para realizar la caracterización de los asfaltos envejecidos por PAV.
Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)			INV E-707-13	3	Nuevo	Nuevo	
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)			INV E-712-13	3	Nuevo	Nuevo	
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetros rotacional			INV E-717-13	3	Nuevo	Nuevo	
Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (G*, d)	INV E-750-13	3			Eliminado	Eliminado	Se contabiliza solamente una vez en todo el asfalto debido a que el ensayo contempla el original, envejecido por RTFO y PAV.
Método de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos utilizando una cámara de envejecimiento a presión (PAV)	-	3	INV E-751-13	3	Cambio de norma	Igual	En el plan de ensayos definido en la etapa preliminar no se había definido la norma por lo que este cambio fue realizado.
FTIR	ASTM E2412	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

H.3.1.1.8 Cemento asfáltico modificado con polímeros

La cantidad de repeticiones de ensayo fue modificada para el asfálto original, envejecido en RTFO y PAV, por la adición de metodologías no previstas inicialmente y aumento en las repeticiones de los ensayos inicialmente planteados.
En la Tabla 21 se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para el cemento asfáltico modificado con polímeros.

Tabla 21. Control de cambios en plan de ensayos para Cemento asfáltico modificado con polímeros

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Asfalto original							
Ductilidad de los materiales asfálticos			INV E-702-13	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Penetración de los materiales bituminosos	INV E-706-13	3	INV E-706-13	6	Igual	Cambio de cantidad	El aumento de la cantidad se debió al aumento de cementos asfálticos muestreados.
Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)	INV E-707-13	3	INV E-707-13	6	Igual	Cambio de cantidad	El aumento de la cantidad se debió al aumento de cementos asfálticos muestreados.
Puntos de inflamación y de combustión mediante la copa abierta cleveland	INV E-709-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)	INV E-712-13	3	INV E-712-13	6	Igual	Cambio de cantidad	El aumento de la cantidad se debió al aumento de cementos asfálticos muestreados.
Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno	INV E-715-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetros rotacional	INV E-717-13	3	INV E-717-13	6	Igual	Cambio de cantidad	El aumento de la cantidad se debió al aumento de cementos asfálticos muestreados.
Método de ensayo para medir la recuperación elástica de materiales asfálticos utilizando el ductilómetro			INV E-742-13	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (G*, d)	INV E-750-13	3	INV E-750-13	6	Igual	Cambio de cantidad	El aumento de la cantidad se debió al aumento de cementos asfálticos muestreados.
FTIR	ASTM E2412	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Composición química (SARA)	ASTM D4124	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Asfalto envejecido RTFO							
Penetración de los materiales bituminosos			INV E-706-13	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)			INV E-707-13	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)			INV E-712-13	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional			INV E-717-13	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Envejecimiento con RTFO	INV E-720-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (G*, d)	INV E-750-13	3			Eliminado	Eliminado	Se contabiliza solamente una vez en todo el asfalto debido a que el ensayo contempla el original, envejecido por RTFO y PAV.
FTIR	ASTM E2412	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Asfalto envejecido PAV							
Penetración de los materiales bituminosos			INV E-706-13	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)			INV E-707-13	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)			INV E-712-13	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetros rotacional			INV E-717-13	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (G*, d)	INV E-750-13	3			Eliminado	Eliminado	Se contabiliza solamente una vez en todo el asfalto debido a que el ensayo contempla el original, envejecido por RTFO y PAV.
Método de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos utilizando una cámara de envejecimiento a presión (PAV)	-	3	INV E-751-13	6	Nuevo	Nuevo	En el plan de ensayos definido en la etapa preliminar no se había definido la norma por lo que este cambio fue realizado.
FTIR	ASTM E2412	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

H.3.1.1.9 Cemento asfáltico modificado de penetración 40/50

Considerando la incorporación del material dentro del Plan de Muestreo de la etapa preliminar, la totalidad de ensayos son adicionados al Plan de Ensayos. En la **Tabla 22** se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para el cemento asfáltico modificado de penetración 40/50

Tabla 22. Control de cambios en plan de ensayos para Cemento asfáltico modificado de penetración 40/50

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Asfalto original							
Ductilidad de los materiales asfálticos			INV E-702-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó el ensayo de "Ductilidad para la caracterización de los asfaltos originales" con norma de ensayo INV E-702-13, para caracterizar el cemento asfaltico original.
Penetración de los materiales bituminosos			INV E-706-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)			INV E-707-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)			INV E-712-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetros rotacional			INV E-717-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (G*, d)			INV E-750-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Asfalto envejecido RTFO							
Penetración de los materiales bituminosos			INV E-706-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron los ensayos de "Penetración de los materiales

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)			INV E-707-13	3	Nuevo	Nuevo	bituminosos" con norma de ensayo INV E-706-13, "Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del pincómetro)" con norma de ensayo INV E-707-13, "Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)" con norma de ensayo INV E-712-13 y "Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional" con norma de ensayo INV E-717-13, para realizar la caracterización de los asfaltos envejecidos por RTFO.
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)			INV E-712-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetros rotacional			INV E-717-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Asfalto envejecido PAV							
Penetración de los materiales bituminosos			INV E-706-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron los ensayos de "Penetración de los materiales bituminosos" con norma de ensayo INV E-706-13, "Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)" con norma de ensayo INV E-707-13, "Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)" con norma de ensayo INV E-712-13 y
Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)			INV E-707-13	3	Nuevo	Nuevo	

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
							"Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional" con norma de ensayo INV E-717-13, para realizar la caracterización de los asfaltos envejecidos por PAV.
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)			INV E-712-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetros rotacional			INV E-717-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Método de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos utilizando una cámara de envejecimiento a presión (PAV)			INV E-751-13	3	Nuevo	Nuevo	En el plan de ensayos definido en la etapa preliminar no se había definido la norma por lo que este cambio fue realizado.

H.3.1.1.10 Cemento asfaltico modificado con GCR

La cantidad de repeticiones de ensayo fue modificada para el asfálto original, presentando una disminución, a causa de de la eliminación de metologias de ensayo. En lo referente al asfalto envejecido en RTFO y PAV se presenta un aumento en la cantidad de repeticiones de ensayo, a causa del aumento de metodologías de ensayo. Ela Tabla 23 se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para el cemento asfáltico modificado con GCR.

Tabla 23. Control de cambios en plan de ensayos para Cemento asfáltico modificado con GCR

1.13 Cemento Asfáltico modificado con GCR	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Asfalto original							
Ductilidad de los materiales asfálticos			INV E-702-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron los ensayos de “Ductilidad para la caracterización de los asfaltos originales con norma de ensayo” con norma de ensayo INV E-702-13 y “Método de ensayo para medir la recuperación elástica de materiales asfálticos utilizando el ductilómetro” con norma de ensayo INV E-742 -13, para caracterizar los asfaltos originales.
Penetración de los materiales bituminosos	INV E-706-13	3	INV E-706-13	3	Igual	Igual	
Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)	INV E-707-13	3	INV E-707-13	3	Igual	Igual	
Puntos de inflamación y de combustión mediante la copa abierta cleveland	INV E-709-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

1.13 Cemento Asfáltico modificado con GCR	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)	INV E-712-13	3	INV E-712-13	3	Igual	Igual	
Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno	INV E – 715 - 13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetros rotacional	INV E-717-13	3	INV E-717-13	3	Igual	Igual	
Método de ensayo para medir la recuperación elástica de materiales asfálticos utilizando el ductilómetro			INV E-742-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (G*, d)	INV E-750-13	3	INV E-750-13	3	Igual	Igual	
Composición química (SARA)	ASTM D4124	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
FTIR	ASTM E2412	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

1.13 Cemento Asfáltico modificado con GCR	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Asfalto envejecido en RTFO							
Penetración de los materiales bituminosos			INV E-706-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron los ensayos de "Penetración de los materiales bituminosos" con norma de ensayo INV E-706-13, "Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del pincómetro)" con norma de ensayo INV E-707-13, "Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)" con norma de ensayo INV E-712-13 y "Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional" con norma de ensayo INV E-717-13, para realizar la caracterización de los asfaltos envejecidos por RTFO.
Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)			INV E-707-13	3	Nuevo	Nuevo	
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)			INV E-712-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetros rotacional			INV E-717-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Envejecimiento con RTFO	INV E-720-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el	INV E-750-13	3			Eliminado	Eliminado	Se contabiliza solamente una vez en todo el asfalto debido a que el ensayo contempla el original, envejecido por RTFO y PAV.

1.13 Cemento Asfáltico modificado con GCR	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
reómetro de corte dinámico (G*, d)							
FTIR	ASTM E2412	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Asfalto envejecido en PAV							
Penetración de los materiales bituminosos			INV E-706-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron los ensayos de "Penetración de los materiales bituminosos" con norma de ensayo INV E-706-13, "Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)" con norma de ensayo INV E-707-13, "Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)" con norma de ensayo INV E-712-13 y "Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional" con norma de ensayo INV E-717-13, para realizar la caracterización de los asfaltos envejecidos por PAV.
Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro)			INV E-707-13	3	Nuevo	Nuevo	
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)			INV E-712-13	3	Nuevo	Nuevo	
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetros rotacional			INV E-717-13	3	Nuevo	Nuevo	
Método de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos utilizando una cámara de envejecimiento a presión (PAV)	-	3	INV E-751-13	3	Cambio de norma	Igual	En el plan de ensayos definido en la etapa preliminar no se había definido la norma por lo que este cambio fue realizado.

1.13 Cemento Asfáltico modificado con GCR	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (G*, d)	INV E-750-13	3			Eliminado	Eliminado	Se contabiliza solamente una vez en todo el asfalto debido a que el ensayo contempla el original, envejecido por RTFO y PAV.
FTIR	ASTM E2412	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

H.3.1.2 Materiales granulares

Dentro de los materiales granulares que se determinaron utilizar en el proyecto como soporte para la generación, actualización o complementación de capítulos y secciones de las especificaciones técnicas generales se presentan:

- Agregados pétreos para bases y subbases
- Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)
- Agregados pétreos para mezclas asfálticas
- Agregados reciclados obtenidos de Residuos de Construcción y Demolición
- Agregados naturales adicionados con agregados provenientes de RAP o Residuos de Contrucción y Demolición

Tal y como fue mostrado en el Plan de Muestreo, los agregados pueden proceder de 3 fuentes diferentes: proyectos en ejecución, proyectos ejecutados u otros proveedores.

H.3.1.2.1 Agregados pétreos para bases y subbases

Dentro de los agregados pétreos para bases y subbases se tienen contemplados:

- Materiales obtenidos de cantera
- Materiales obtenidos en obra
- Material de RAP.

Material obtenido de cantera

La cantidad de repeticiones de ensayo fue modificada de 57 a 79, por aumento en los procedimientos de ensayo a realizar en el material. En la **Tabla 24** se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para los agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de cantera.

Tabla 24. Control de cambios en plan de ensayos para agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de cantera.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición			INV E-121-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado			INV E-122-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por tamizado)	INV E-123-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por hidrómetro)		3				Eliminado	
Determinación del límite líquido de los suelos	INV E-125-13	3	INV E-125-13	3	Igual	Igual	
Determinación del límite plástico e índice de plasticidad para suelos	INV E-126-13	3	INV E-126-13	3	Igual	Igual	

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua			INV E-128-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Equivalente de arena de suelos y agregados finos	INV E-133-13	3	INV E-133-13	3	Igual	Igual	
Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (Ensayo modificado de compactación)	INV E-142-13	3	INV E-142-13	3	Igual	Igual	
CBR de suelos compactados en el laboratorio	INV E-148-13	3	INV E-148-13	3	Igual	Igual	
Módulo Resiliente de suelos y agregados	INV E-156-13	3	INV E-156-13	20	Igual	Cambio de cantidad	Número de muestras: Se determinó para el ensayo de “Módulo Resiliente de suelos y agregados” con norma de ensayo INV E-156-13, realizar 8 repeticiones para la base Tipo C y 8 repeticiones para la subbase Tipo C, ya que estos materiales presentan las menores propiedades.
			BG-C	10	Nuevo	Nuevo	
			SBG-C	9	Nuevo	Nuevo	
			BG-A	1	Nuevo	Nuevo	
Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados			INV E-211-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación del contenido aproximado de materia orgánica	INV E-212-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino			INV E-213-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 um (N° 200) en los agregados pétreos mediante lavado			INV E-214-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó el ensayo "Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 um (N° 200) en los agregados pétreos mediante lavado" con norma de ensayo INV E-214-13, para poder realizar el tamizaje completo de los agregados.
Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles	INV E-218-13	3	INV E-218-13	3	Igual	Igual	
Solidez de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio - solidez (5 ciclos); aplica a granulares utilizados en la estabilizadas de la subrasantes	INV E-220-13	3	INV E-220-13	3	Igual	Igual	
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino	INV E-222-13	3	INV E-222-13	3	Igual	Igual	
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso	INV E-223-13	3	INV E-223-13	3	Igual	Igual	

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación del valor del 10% de finos	INV E-224-13	3	INV E-224-13	3	Igual	Igual	
Porcentaje de particulas fracturadas en un agregados grueso	INV E-227-13	3	INV E-227-13	3	Igual	Igual	
Valor de azul de metileno en agregados finos	INV E-235-13	3	INV E-235-13	3	Igual	Igual	
Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato desgaste utilizando el equipo Micro-Deval	INV E-238-13	3	INV E-238-13	3	Igual	Igual	
Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influencia por forma de las partículas, textura de la superficie y gradación)	INV E-239-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Proporción de particulas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos	INV E-240-13	3	INV E-240-13	3	Igual	Igual	

Material obtenido en obra

La cantidad de repeticiones de ensayo fue modificada de 57 a 146, por aumento en los procedimientos de ensayo a realizar en el material y aumento en las repeticiones para los ya planteados desde la Etapa preliminar. En la **Tabla 25** se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para los agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de obras en ejecución.

Tabla 25. Control de cambios en plan de ensayos para agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de obras en ejecución.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición			INV E-121-13	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado			INV E-122-13	9	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por tamizado)	INV E-123-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por hidrómetro)	INV E-123-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación del límite líquido de los suelos	INV E-125-13	3	INV E-125-13	9	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados gruesos de cada una de las fuentes, por separado.
Determinación del límite plástico e índice de plasticidad para suelos	INV E-126-13	3	INV E-126-13	9	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados gruesos de cada una de las fuentes, por separado.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua			INV E-128-13	9	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Equivalente de arena de suelos y agregados finos	INV E-133-13	3	INV E-133-13	6	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados de cada una de las fuentes, por separado.
Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (Ensayo modificado de compactación)	INV E-142-13	3	INV E-142-13	6	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados de cada una de las fuentes, por separado.
CBR de suelos compactados en el laboratorio	INV E-148-13	3	INV E-148-13	6	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados de cada una de las fuentes, por separado.
Módulo Resiliente de suelos y agregados	INV E-156-13	3	INV E-156-13	4	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados de cada una de las fuentes, por separado.
Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados			INV E-211-13	4	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación del contenido aproximado de materia orgánica	INV E-212-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino			INV E-213-13	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 um (N° 200) en los agregados pétreos mediante lavado			INV E-214-13	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó el ensayo "Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 um (N° 200) en los agregados pétreos mediante lavado" con norma de ensayo INV E-214-13, para poder realizar el tamizaje completo de los agregados.
Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles	INV E-218-13	3	INV E-218-13	9	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados gruesos de cada una de las fuentes, por separado.
Solidez de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio - solidez (5 ciclos); aplica a granulares utilizados en la estabilizadas de la subrasantes	INV E-220-13	3	INV E-220-13	9	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados gruesos de cada una de las fuentes, por separado.
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino	INV E-222-13	3	INV E-222-13	4	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados gruesos de cada una de las fuentes, por separado.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso	INV E-223-13	3	INV E-223-13	4	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados gruesos de cada una de las fuentes, por separado.
Determinación del valor del 10% de finos	INV E-224-13	3	INV E-224-13	6	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados finos de cada una de las fuentes, por separado.
Porcentaje de particulas fracturadas en un agregados grueso	INV E-227-13	3	INV E-227-13	9	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados gruesos de cada una de las fuentes, por separado.
Índices de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras			INV E-230-13	5	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Valor de azul de metileno en agregados finos	INV E-235-13	3	INV E-235-13	9	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados gruesos de cada una de las fuentes, por separado.
Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato desgaste utilizando el equipo Micro-Deval	INV E-238-13	3	INV E-238-13	9	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la caracterización de los agregados gruesos de cada una de las fuentes, por separado.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influencia por forma de las partículas, textura de la superficie y gradación)	INV E-239-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Proporción de particulas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos	INV E-240-13	3	INV E-240-13	1	Igual	Cambio de cantidad	El cambio de cantidad se debió a la disponibilidad del material.

Material de RAP

La cantidad de repeticiones de ensayo fue modificada de 51 a 102, por aumento en los procedimientos de ensayo a realizar en el material y variación en las repeticiones para los ya planteados desde la Etapa preliminar. En la **Tabla 26** se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para los agregados pétreos obtenidos de RAP.

Tabla 26. Control de cambios en plan de ensayos para agregados pétreos para bases y subbases obtenido de RAP

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado			INV E-122-13	2	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por tamizado)	INV E-123-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por hidrómetro)	INV E-123-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación del límite líquido de los suelos	INV E-125-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Límite plástico e índice de plasticidad	INV E-126-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua			INV E-128-13	2	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Equivalente de arena de suelos y agregados finos (solamente por tamizado)	INV E-133-13	3	INV E-133-13	2	Igual	Cambio de cantidad	La dismicución de la cantidad se debibió a la disponibilidad del material.
Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados			INV E-211-13	2	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Presencia de impurezas orgánicas en arenas usadas para la preparación de morteros o concretos	INV E-212-13	3	INV E-212-13	2	Igual	Cambio de cantidad	La dismicución de la cantidad se debibió a la disponibilidad del material.
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino			INV E-213-13	2	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles	INV E-218-13	3	INV E-218-13	2	Igual	Cambio de cantidad	La dismicución de la cantidad se debibió a la disponibilidad del material.
Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio - solidez (5 ciclos)	INV E-220-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino	INV E-222-13	3	INV E-222-13	2	Igual	Cambio de cantidad	La dismicución de la cantidad se debibió a la disponibilidad del material.
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso	INV E-223-13	3	INV E-223-13	2	Igual	Cambio de cantidad	La dismicución de la cantidad se debibió a la disponibilidad del material.
Determinación del valor del 10% de finos	INV E-224-13	3	INV E-224-13	2	Igual	Cambio de cantidad	La dismicución de la cantidad se debibió a la disponibilidad del material.
Porcentaje de particulas fracturadas en un agregados grueso	INV E-227-13	3	INV E-227-13	2	Igual	Cambio de cantidad	La dismicución de la cantidad se debibió a la disponibilidad del material.
Valor de azul de metileno en agregados finos	INV E-235-13	3	INV E-235-13	2	Igual	Cambio de cantidad	La dismicución de la cantidad se debibió a la disponibilidad del material.
Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato	INV E-238-13	3	INV E-238-13	2	Igual	Cambio de cantidad	La dismicución de la cantidad se debibió a la disponibilidad del material.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
desgaste utilizando el equipo Micro-Deval							
Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influencia por forma de las partículas, textura de la superficie y gradación)	INV E-239-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Proporción de particulas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos	INV E-240-13	3	INV E-240-13	2	Igual	Cambio de cantidad	La dismicución de la cantidad se debibió a la disponibilidad del material.
Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (Método Riedel - Weber)	INV E-774-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
SPLP - Extracción de metales pesados			EPA SW 846 1312	2	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Ensayo de lixiviación - Bario			SM 3120 B	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Ensayo de lixiviación - Arsénico			SM 3120 B	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Ensayo de lixiviación - Cromo			SM 3120 B	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Ensayo de lixiviación - Cobre			SM 3120 B	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Ensayo de lixiviación - Molibdeno			SM 3120 B	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Ensayo de lixiviación - Níquel			SM 3120 B	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Ensayo de lixiviación - Plomo			SM 3120 B	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Ensayo de lixiviación - Selenio			SM 3120 B	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Ensayo de lixiviación - Zinc			SM 3120 B	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Ensayo de lixiviación - Cadmio			SM 3120 B	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Ensayo de lixiviación - Mercurio			SM 3120 B / EPA 7473	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Ensayo de lixiviación - Antimonio			SM 3120 B / EPA 7473	6	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.

H.3.1.2.2 Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

La cantidad de repeticiones de ensayo fue modificada de 8 a 20, por aumento en los procedimientos de ensayo a realizar en el material. En la **Tabla 27** se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para la subbase granular adicionada con RAP obtenida de obra en ejecución.

Tabla 27. Control de cambios en plan de ensayos para subbase granular adicionada con RAP

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición			INV E-121-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por ser un material nuevo en obra el especialista definió que estos ensayos eran importantes para la caracterización del material.
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado			INV E-122-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por ser un material nuevo en obra el especialista definió que estos ensayos eran importantes para la caracterización del material.
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por tamizado e hidrometría)			INV E-123-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por ser un material nuevo en obra el especialista definió que estos ensayos eran importantes para la caracterización del material.
Determinación del límite líquido de los suelos			INV E-125-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por ser un material nuevo en obra el especialista definió que estos ensayos eran importantes para la caracterización del material.
Determinación del límite plástico e índice de plasticidad para suelos			INV E-126-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por ser un material nuevo en obra el especialista definió que estos ensayos eran importantes para la caracterización del material.
Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante			INV E-128-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por ser un material nuevo en obra el especialista definió que estos ensayos eran importantes para la caracterización del material.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
mineral, empleando un picnómetro con agua							
Equivalente de arena de suelos y agregados finos	INV E-133-13	1	INV E-133-13	1	Igual	Igual	
Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)	INV E-142-13	1	INV E-142-13	1	Igual	Igual	
CBR de suelos compactados en el laboratorio	INV E-148-13	1	INV E-148-13	1	Igual	Igual	
Módulo Resiliente de suelos y agregados	INV E-156-13	1	INV E-156-13	1	Igual	Igual	
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino			INV E-213-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por ser un material nuevo en obra el especialista definió que estos ensayos eran importantes para la caracterización del material.
Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 um (N° 200) en los agregados pétreos mediante lavado			INV E-214-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por ser un material nuevo en obra el especialista definió que estos ensayos eran importantes para la caracterización del material.
Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles	INV E-218-13	1	INV E-218-13	1	Igual	Igual	

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio			INV E-220-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por ser un material nuevo en obra el especialista definió que estos ensayos eran importantes para la caracterización del material.
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino			INV E-222-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por ser un material nuevo en obra el especialista definió que estos ensayos eran importantes para la caracterización del material.
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso			INV E-223-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por ser un material nuevo en obra el especialista definió que estos ensayos eran importantes para la caracterización del material.
Determinación del valor del 10% de finos	INV E-224-13	1	INV E-224-13	1	Igual	Igual	
Porcentaje de particulas fracturadas en un agregados grueso	INV E-227-13	1	INV E-227-13	1	Igual	Igual	
Índices de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras			INV E-230-13	1	Nuevo	Nuevo	Se realizó el cambio de la Norma INV E 240-13 por la INV E 230-13, debido a que inicialmente en el Plan se había planteado este ensayo por lo que al realizar el cambio a la INV E 240-13 ya no se tenía el material para realizar este ensayo, de tal forma el especialista decidió trabajar con el resultado obtenido inicialmente.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Valor de azul de metileno en agregados finos			INV E-235-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por ser un material nuevo en obra el especialista definió que estos ensayos eran importantes para la caracterización del material.
Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato desgaste utilizando el equipo Micro-Deval	INV E-238-13	1	INV E-238-13	1	Igual	Igual	
Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influenciado por la forma de las partículas, la textura superficial y la granulometría)			INV E-239-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por ser un material nuevo en obra el especialista definió que estos ensayos eran importantes para la caracterización del material.
Proporción de particulas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos	INV E-240-13	1			Eliminado	Eliminado	Se realizó el cambio de la Norma INV E 240-13 por la INV E 230-13, debido a que inicialmente en el Plan se había planteado este ensayo por lo que al realizar el cambio a la INV E 240-13 ya no se tenía el material para realizar este ensayo, de tal forma el especialista decidió trabajar con el resultado obtenido inicialmente.

H.3.1.2.3 Agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material obtenido de cantera

La cantidad de repeticiones de ensayo fue modificada de 54 a 68, por aumento en la cantidad de repeticiones de los ensayos inicilmente programados en la Etapa preliminar. En la **Tabla 28** se presentan los cambios realizados en los ensayos planteados para los agregados pétreos para mezclas asfálticas obtenidos de cantera.

Tabla 28. Control de cambios en plan de ensayos para Agregados pétreos para Mezclas Asfálticas

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición			INV E-121-13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por tamizado)	INV E-123-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por hidrómetro)	INV E-123-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación del límite líquido de los suelos	INV E-125-13	3	INV E-125-13	3	Igual	Igual	
Determinación del límite plástico e índice de plasticidad para suelos	INV E-126-13	3	INV E-126-13	3	Igual	Igual	
Equivalente de arena de suelos y agregados finos	INV E-133-13	3	INV E-133-13	3	Igual	Igual	

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Módulo Resiliente	INV E-156-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó debido a que no son fundamentales en la caracterización de los agregados para mezclas asfálticas.
Determinación del contenido aproximado de materia orgánica	INV E-212-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto			INV E-217-13	11	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles	INV E-218-13	3	INV E-218-13	8	Igual	Cambio de cantidad	la cantidad cambió de 9 a 8 debido a que una de las fuentes no envío 3 agregados gruesos sino 2, por lo que esta cantidad debe reducirse en 1 de lo inicialmente planteado
Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio - solidez (5 ciclos)	INV E-220-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Peso específico y absorción de agregados finos	INV E-222-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó debido a que no son fundamentales en la caracterización de los agregados para mezclas asfálticas.
Peso específico y absorción de agregados gruesos	INV E-223-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó debido a que no son fundamentales en la caracterización de los agregados para mezclas asfálticas.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación del valor del 10% de finos	INV E-224-13	3	INV E-224-13	8	Igual	Cambio de cantidad	la cantidad cambió de 9 a 8 debido a que una de las fuentes no envío 3 agregados gruesos sino 2, por lo que esta cantidad debe reducirse en 1 de lo inicialmente planteado
Porcentaje de particulas fracturadas en un agregados grueso	INV E-227-13	3	INV E-227-13	8	Igual	Cambio de cantidad	la cantidad cambió de 9 a 8 debido a que una de las fuentes no envío 3 agregados gruesos sino 2, por lo que esta cantidad debe reducirse en 1 de lo inicialmente planteado
Valor de azul de metileno en agregados finos	INV E-235-13	3	INV E-235-13	3	Igual	Igual	
Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato desgaste utilizando el equipo Micro-Deval	INV E-238-13	3	INV E-238-13	7	Igual	Cambio de cantidad	El aumento en la cantidad se debió a la disponibilidad del material
Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influencia por forma de las partículas, textura de la superficie y gradación)	INV E-239-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Proporción de particulas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos	INV E-240-13	3	INV E-240-13	8	Igual	Cambio de cantidad	la cantidad cambió de 9 a 8 debido a que una de las fuentes no envío 3 agregados gruesos sino 2, por lo que esta cantidad debe reducirse en 1 de lo inicialmente planteado

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (Método Riedel - Weber)	INV E-774-13	3	INV E-774-13	3	Igual	Igual	

H.3.1.2.4 Agregados reciclados obtenidos de Residuos de Construcción y Demolición

Atendiendo la necesidad de conocer el comportamiento de los agregados provenientes de RCD, tal y como fue informado en el Plan de Muestreo del capitulo anterior, se realizo el muestreo de materiales de:

- Centros de tratamiento y aprovechamiento de RCD
- Obras en ejecución

<u>Material de centros de tratamiento y aprovechamiento de RCD</u>

Por la naturaleza heterogenea de los agregados provenientes de RCD, para el análisis de propiedades mediante la realización de ensayos, fue planteado el muestreo en 3 temporalidades diferentes, obteniendo de 3 materiales de diferente categoría según las establecidas para materiales naturales, de 3 centros diferentes. A causa de las modificaciones realizadas al Plan de muestreo, la cantidad de ensayos presentó una variación con respecto a lo programado durante la Etapa preliminar.

Dentro de esas variaciones se encuentra la obtención de 6 materiales de diferente categoría según las establecidas para materiales naturales, durante la primera temporaralidad, de dos centros; para las siguientes dos temporalidades y posterior al análisis de resultados fueron seleccionados 3 categoría según las establecidas para materiales naturales, de 2 centros.
Se presenta un cambio de 540 a 1292 repeticiones de ensayo, principalmente por el aumento de repeticiones en los procedimientos de ensayo, que permitan el análisis de los cambios en las propiedades del material.

A continuación en la **Tabla 29**, se van a presentar las razones de las cantidades que son diferentes a las planteadas en el párrafo anterior.

Tabla 29. Control de cambios en plan de ensayos para RCD

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Ensayo de clasificación de los componentes de los áridos gruesos reciclados	UNE EN 933-11 :2009	27	UNE EN 933-11 :2009	50	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50.
Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición			INV E-121-13	53	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista, adicionalmente se realizó el ensayo para algunos materiales obtenidos de obras en ejecución.
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado			INV E-122-13	54	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista, adicionalmente se realizó el ensayo para algunos materiales obtenidos de obras en ejecución.
Determinación del límite líquido de los suelos	INV E-125-13	27	INV E-125-13	54	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50. Adicionalmente, se realizó el ensayo para algunos materiales obtenidos de obras en ejecución.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación del límite plástico e índice de plasticidad para suelos	INV E-126-13	27	INV E-126-13	54	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50. Adicionalmente, se realizó el ensayo para algunos materiales obtenidos de obras en ejecución.
Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua			INV E-128-13	23	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.
Equivalente de arena de suelos y agregados finos	INV E-133-13	27	INV E-133-13	53	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50. Adicionalmente, se realizó el ensayo para algunos materiales obtenidos de obras en ejecución.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)	INV E-142-13	27	INV E-142-13	53	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50. Adicionalmente, se realizó el ensayo para algunos materiales obtenidos de obras en ejecución.
CBR de los suelos compactados en el laboratorio	INV E-148-13	27	INV E-148-13	53	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50. Adicionalmente, se realizó el ensayo para algunos materiales obtenidos de obras en ejecución.
Módulo Resiliente de suelos y agregados			INV E-156-13	26	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.
Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados	INV E-211-13	27	INV E-211-13	50	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50.
Materia Orgánica	INV E-212-13	27			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	INV E-213-13	27	INV E-213-13	53	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50.
Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 um (N° 200) en los agregados pétreos mediante lavado			INV E-214-13	53	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron para poder realizar la caracterización completa de los materiales.
Densidad bulk (peso unitario) y porcetnaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto			INV E-217-13	46	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles	INV E-218-13	27	INV E-218-13	53	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50.
Solidez de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio	INV E-220-13	27	INV E-220-13	54	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino	INV E-222-13	27	INV E-222-13	51	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50.
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso	INV E-223-13	27	INV E-223-13	50	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50.
Determinación del valor del 10% de finos	INV E-224-13	27	INV E-224-13	52	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50.
Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso			INV E-227-13	53	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron para poder realizar la caracterización completa de los materiales.
Índices de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras	INV E-230-13	27			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Determinación del contenido de azufre en los agregados pétreos	INV E-233 (UNE EN 1744-1 UNE 103201)	27	INV E-233 (UNE EN 1744-1 UNE 103201)	48	Igual	Cambio de cantidad	

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice de agregados (método químico)	INV E-234-13	27	INV E-234-13	48	Igual	Cambio de cantidad	
Valor de azul de metileno en agregados finos	INV E-235-13	27	INV E-235-13	54	Igual	Cambio de cantidad	Por petición de la especialista para la primera ventana de tiempo hubo un material al cual no se va a realizar una repetición sino 3 repeticiones, lo cual genera una modificación de 48 ensayos sino 50.
Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato desgaste utilizando el equipo Micro-Deval	INV E-238-13	27	INV E-238-13	53	Igual	Cambio de cantidad	
Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influenciado por la forma de las partículas, la textura superficial y la granulometría)	INV E-239-13	27	INV E-239-13	53	Igual	Cambio de cantidad	Se adicionaron para poder realizar la caracterización completa de los materiales.
Proporción de partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos			INV E-240-13	48	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.

Adicional a lo anterior, con el propósito conocer las propiedades del material que permitiera analizar la viabilidad ambiental al ser expuesto a las condiciones esteriores, fueron añadidas metodologías de ensayo para 3 de los 6 materiales de diferente categoría según las establecidas para materiales naturales, obtenidos durante la primera temporarlidad, y a los materiales muestreados durante la segunda y tercera temporalidad.

Por la adición de metodologías de ensayo y cantidad en las repeticiones, se presenta una variación de 54 a 481 repeticiones de ensayo.

Tabla 30. Control de cambios en plan de ensayos para RCD- viabilidad ambiental

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
SPLP - Extracción de metales pesados			EPA SW 846 1312	13	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.
Ensayo de lixiviación - Bario			SM 3120 B	39	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.
Ensayo de lixiviación - Arsénico			SM 3120 B	39	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.
Ensayo de lixiviación - Cromo			SM 3120 B	39	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Ensayo de lixiviación - Cobre			SM 3120 B	39	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.
Ensayo de lixiviación - Molibdeno			SM 3120 B	39	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.
Ensayo de lixiviación - Níquel			SM 3120 B	39	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.
Ensayo de lixiviación - Plomo			SM 3120 B	39	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.
Ensayo de lixiviación - Selenio			SM 3120 B	39	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.
Ensayo de lixiviación - Zinc			SM 3120 B	39	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.
Ensayo de lixiviación - Cadmio			SM 3120 B	39	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Ensayo de lixiviación - Mercurio			SM 3120 B / EPA 7473	39	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.
Ensayo de lixiviación - Antimonio			SM 3120 B / EPA 7473	39	Nuevo	Nuevo	Se adicionaron ya que fueron propuestos por la especialista debido a que son útiles para la caracterización de estos ensayos.
Ensayo de lixiviación o ensayo de disponibilidad	NEN 7341	27			Eliminado	Eliminado	Se eliminaron debido a que la norma no aplicaba para la utilidad que se requería en el proyecto.
Ensayo de lixiviación	Método 1312 EPA test SPLP	27			Eliminado	Eliminado	Se eliminaron debido a que la norma no aplicaba para la utilidad que se requería en el proyecto.

H.3.1.2.5 Agregados naturales adicionados con agregados provenientes de RAP o Residuos de Contrucción y Demolición

Dentro de la ejecución del contrato, fue definida la realización de mezcla de agregados naturales con agregados provenientes de RCD, de tipo

- Subbase granular adicionada con RAP
- Subbase granular adicionada con agregados muestreados de centros de tratamiento y aprovechamiento de RCD

Para cada uno de los diseños de granulares, se presentan las cantidades de los ensayos programados en el plan de ensayos y los cambios realizados, si existieran.

H.3.1.2.5.1 Subbase Granular adicionadas con RAP

Para las subbases granulares adicionadas con RAP que se tienen planeadas realizar en el laboratorio de la Universidad, se va a diseñar una subbase granular tipo C obtenida de cantera con los dos RAP muestreados al IDU y la UMV, con las cantidades presentadas en la Tabla 31.

Tabla 31. Control de cambios en plan de ensayos para Diseño se Subbase granular adicionada con RAP

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Diseño grava-RAP							
Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)	INV E-142-13	3			Eliminado	Eliminado	Los ensayos planteados de diseño fueron eliminados debido a que el especialista consideró innecesario realizar la adición por porcentajes para generar una granulometría. Por lo anterior, se decidió que los ensayos de diseño iban a hacer parte de los ensayos de verificación ya que los materiales se deben ajustar a la granulometría planteada por el especialista, para cada uno de los dos RAP. Es importante aclarar que la cantidad del ensayo INV E -156-13 corresponde a 1 ensayo de cada
CBR	INV E-148-13	3			Eliminado	Eliminado	
Módulo Dinámico	INV E-754-13	3			Eliminado	Eliminado	
TSR Resistencia de una mezcla bituminosa compactada al daño causado por humedad	INV E-725-13	3			Eliminado	Eliminado	
Compactación probetas cilíndricas	INV E-807-13	27			Eliminado	Eliminado	
Compactación panela 30x30x5	-	9			Eliminado	Eliminado	

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Resistencia bajo carga repetida (ahuellamiento)	UNE-EN 12697-2000	3			Eliminado	Eliminado	material más 1 ensayo realizado por otra metodología por petición del especialista para corroborar resultados.
Diseño de Granulometría	-	3			Eliminado	Eliminado	
Diseño de Mezcla	-	3			Eliminado	Eliminado	
Verificación grava-RAP							
Equivalente de arena de suelos y agregados finos			INV E-133-13	2	Nuevo	Nuevo	Los ensayos planteados de diseño fueron eliminados debido a que el especialista consideró innecesario realizar la adición por porcentajes para generar una granulometría. Por lo anterior, se decidió que los ensayos de diseño iban a hacer parte de los ensayos de verificación ya que los materiales se deben ajustar a la granulometría planteada por el especialista, para cada uno de los dos RAP. Es importante aclarar que la cantidad del ensayo INV E -156-13 corresponde a 1 ensayo de cada material más 1 ensayo realizado por
Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)			INV E-142-13	2	Nuevo	Nuevo	
CBR de suelos compactados en el laboratorio			INV E-148-13	2	Nuevo	Nuevo	
Módulo Resiliente de suelos y agregados			INV E-156-13	3	Nuevo	Nuevo	
Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles			INV E-218-13	2	Nuevo	Nuevo	
Determinación del valor del 10% de finos			INV E-224-13	2	Nuevo	Nuevo	

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Porcentaje de particulas fracturadas en un agregados grueso			INV E-227-13	2	Nuevo	Nuevo	otra metodología por petición del especialista para corroborar resultados.
Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato desgaste utilizando el equipo Micro-Deval			INV E-238-13	2	Nuevo	Nuevo	
Proporción de particulas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos			INV E-240-13	2	Nuevo	Nuevo	

H.3.1.2.5.2 Subbase granular adicionadas con agregados muestreados de centros de tratamiento y aprovechamiento de RCD

Para las subbases granulares adicionadas con RCD que se tienen planeadas realizar en el laboratorio de la Universidad, se va a diseñar una subbase granular tipo 1 obtenida de cantera con una grava y arena trituradas muestreada del centro de tratamiento y aprovechamiento de RCD Reciclados Industriales.

En la Tabla 32, se observa la propuesta realizada por parte de la Universidad a los especialistas del IDU en mesas de trabajo para realizar el diseño de estos materiales, estas cantidades se deben a lo siguiente:

Se plantean 3 porcentajes de adición de los materiales básicos de la siguiente forma:
D1: 45% subbase granular Tipo 1, 20% grava de trituración y 35% de arena de trituración.
D2: 40% subbase granular Tipo 1, 35% grava de trituración y 25% de arena de trituración.
D3: 50% subbase granular Tipo 1, 25% grava de trituración y 25% de arena de trituración.

Tabla 32. Control de cambios en plan de ensayos para Diseño se Subbase granular adicionada con RCD

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado			INV E-122-13	3	Nuevo	Nuevo	La cantidad planteada se debe a la caracterización de la Subbase granular Tipo 1, a la arena triturada y a la grava triturada.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos			INV E-123-13	6	Nuevo	Nuevo	La cantidad de este ensayo está compuesta por 6 repeticiones debido a que es 1 para Subbase granular Tipo 1, 1 para arena triturada, 1 para grava triturada, 1 para la mezcla de los tres materiales para cumplir como material de subbase, 1 para la mezcla de los tres materiales para cumplir como material de base y 1 para la mezcla de los tres materiales para cumplir como material de subrasante.
Determinación del límite líquido de los suelos			INV E-125-13	3	Nuevo	Nuevo	La cantidad planteada se debe a la caracterización de la Subbase granular Tipo 1, a la arena triturada y a la grava triturada.
Determinación del límite plástico e índice de plasticidad para suelos			INV E-126-13	3	Nuevo	Nuevo	La cantidad planteada se debe a la caracterización de la Subbase granular Tipo 1, a la arena triturada y a la grava triturada.
Equivalente de arena de suelos y agregados finos			INV E-133-13	2	Nuevo	Nuevo	Esta cantidad se deba a la caracterización de la arena triturada y la subbase granular Tipo 1.
Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (Ensayo modificado de compactación)			INV E-142-13	4	Nuevo	Nuevo	La cantidad de ensayos se debe a: 1 para Subbase granular Tipo 1, 1 para D1, 1 para D2 y 1 para D3.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
CBR de suelos compactados en el laboratorio			INV E-148-13	4	Nuevo	Nuevo	La cantidad de ensayos se debe a: 1 para Subbase granular Tipo 1, 1 para D1, 1 para D2 y 1 para D3.
Módulo Resiliente de suelos y agregados			INV E-156-13	12	Nuevo	Nuevo	La cantidad de 12 ensayos se debe a tres (3) repeticiones de: 1 para Subbase granular Tipo 1, 1 para D1, 1 para D2 y 1 para D3.
Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles			INV E-218-13	2	Nuevo	Nuevo	Esta cantidad se deba a la caracterización de la arena triturada y la subbase granular Tipo 1.
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino			INV E-222-13	2	Nuevo	Nuevo	Esta cantidad se deba a la caracterización de la arena triturada y la subbase granular Tipo 1.
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso			INV E-223-13	2	Nuevo	Nuevo	Esta cantidad se deba a la caracterización de la subbase granular Tipo 1 y de la grava de trituración
Valor de azul de metileno en agregados finos			INV E-235-13	2	Nuevo	Nuevo	Esta cantidad se deba a la caracterización de la arena triturada y la subbase granular Tipo 1.

H.3.1.3 Suelos y granulares estabilizados o mejorados

Dentro de los materiales estabilizados definidos en el proyecto como soporte para la generación, actualización o complementación de capítulos y secciones de las especificaciones técnicas generales se presentan:

- Suelos tratados con cemento.
- Base granular mejorada con cemento hidráulico
- Base granular mejorada con emulsión asfáltica
- Base granular mejorada con cemento asfáltico

Para cada uno de estos, se presentan las cantidades de los ensayos programados en el plan de ensayos y los cambios realizados, si existieran.

H.3.1.3.1 Suelos tratados con cemento

Para los suelos tratados con cemento que se tienen planeadas realizar en el laboratorio de la Universidad, se presentan inicialmente el diseño y los ensayos que son necesarios para el mismo, y luego de escoger el porcentaje óptimo de cemento, se realizan los ensayos verificación de este.

Diseño

Las cantidades del plan de ensayos de la etapa preliminar se deben a 3 proyectos en ejecución para 3 diferentes proveedores de cemento, esto da un total de 9 muestras, de estos se van a realizar porcentajes de adición 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, y 16, para un total de 72 muestras para los ensayos de resistencia, retracción, flexión, expansión volumétrica y resistencia a la Compresión Diametral

Adicionalmente a las anteriores cantidades descritas, se planearon pruebas de las muestras a 7 días a la intemperie y 3 días a la intemperie más 4 días de inmersión, para un total de 144 muestras para los ensayos de resistencia a la compresión Simple, relaciones de peso unitario - Humedad. Equipo modificado (Proctor Modificado) y CBR.

Por otra parte, las cantidades del plan de ensayos de la etapa de ejecución se deben a 5 porcentajes de adición y el cambio de cantidad depende de las repeticiones pedidas por la norma o el especialista, para cada ensayo.

Verificación

Las cantidades del plan de ensayos de la etapa preliminar se deben a 3 proyectos en ejecución para 3 diferentes proveedores de cemento, esto da un total de 9 muestras, de estos se van a realizarán pruebas a los 56 y 90 días, para un total de 18 muestras, a esta cantidad de muestra se desarrollará el ensayo de fatiga. Además de las anteriores cantidades se realizarán pruebas a los 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días, para un total de 54 muestras para los ensayos de módulo dinámico y resistencia a la compresión simple.

Por otra parte, para los ensayos de verificación del plan de ensayos de la etapa de ejecución se determinó solamente un porcentaje de adición, y la elaboración de probetas Marshall se debe a los diferentes ensayos a realizar de la siguiente forma 12 para fatiga, 3 para módulo y 1 para durabilidad.

En la Tabla 33 se pueden corroborar las cantidades presentadas anteriormente.

Tabla 33. Control de cambios en plan de ensayos para Suelos tratados con cemento

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Diseño suelo-cemento							
Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos (ensayo normal de compactación)			INV E-141-13	15	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Relaciones de peso unitario - Humedad. Equipo modificado (Proctor Modificado)	INV E-142-13	144			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
CBR de los suelos compactados en el laboratorio (7 días aire, y 3 días aire más 4 días inmersión)	INV E-148-13	144	INV E-148-13	10	Igual	Cambio de cantidad	
Relaciones humedad-densidad de mezclas de suelo cemento			INV E-611-13	5	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Expansión volumétrica	INV E-607-13	72			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Preparación y curado de probetas de suelo-cemento para pruebas de compresión y flexión en el laboratorio (compresión)	INV E-613-13	144	INV E-613-13	30	Igual	Cambio de cantidad	
Preparación y curado de probetas de suelo-cemento para pruebas de compresión y flexión en el laboratorio (flexión)	INV E-613-13	72	INV E-613-13	15	Igual	Cambio de cantidad	
Resistencia a la compresión de cilindros moldeados de suelo-cemento (7 días aire, y 3 días aire más 4 días inmersión)	INV E-614-13	72	INV E-614-13	30	Igual	Cambio de cantidad	
Flexión	INV E-615-13	72			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Resistencia a la flexión del suelo-cemento usando una viga simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre			INV E-616-13	15	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Retracción	-	72			Eliminado	Eliminado	
Verificación del Diseño Óptimo							
Módulo Resiliente de suelos y agregados			INV E-156-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Humedecimiento y secado de mezclas compactadas de suelo-cemento (Durabilidad)			INV E-612-13	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Resistencia a la Compresión Simple	INV E-613-13	54			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Elaboración de probetas cilindricas, tipo Marshall			INV E-748-13	16	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Módulo Dinámico	INV E-754-13	54			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada)	-	18	EN 12697-24	1	Cambio de norma	Cambio de cantidad	

H.3.1.3.2 Base y subbase granular mejorada con Cemento hidráulico

Para la base granular mejorada con cemento hidráulico que se tiene planeada realizar en el laboratorio de la Universidad, se presentan inicialmente el diseño y los ensayos que son necesarios para el mismo, y luego de escoger el porcentaje óptimo de cemento, se realizan los ensayos verificación de este.

En la Tabla 34, se observa que en el plan de ensayos de la etapa preliminar no se encontraba contemplado este material pero el especialista sugirió su adición debido al aporte de los resultados para las especificaciones.

Tabla 34. Control de cambios en plan de ensayos para Base y subbase granular mejorada con Cemento hidráulico

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios	
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad
Diseño grava-cemento						
Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)			INV E-142-13	10	Nuevo	Nuevo
Expansión Volumétrica			INV E-612-13	4	Nuevo	Nuevo
Preparación y curado de probetas de granular-cemento para pruebas de compresión y flexión en el laboratorio (compresión)			INV E-613-13	36	Nuevo	Nuevo
Resistencia a la compresión de cilindros moldeados de granular-cemento (7 días curado a una humedad relativa ente 95% y 100% y una temperatura entre 20° y 25° C)			INV E-614-13	36	Nuevo	Nuevo
Verificación del Diseño óptimo						
Módulo Resiliente de suelos y agregados			INV E-156-13	2	Nuevo	Nuevo
Humedecimiento y secado de mezclas compactadas de granular-cemento (Durabilidad)			INV E-612-13	2	Nuevo	Nuevo
Elaboración de probetas cilindricas, tipo Marshall			INV E-748-13	30	Nuevo	Nuevo
Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada)			EN 12697-24	2	Nuevo	Nuevo

H.3.1.3.3 Base granular mejorada con emulsión asfáltica

Para la base granular mejorada con emulsión asfáltica que se tiene planeada realizar en el laboratorio de la Universidad, se presentan inicialmente el diseño y los ensayos que son necesarios para el mismo, y luego de escoger el porcentaje óptimo de asfalto residual, se realizan los ensayos verificación de este.

En la Tabla 35, se observa que en el plan de ensayos de la etapa preliminar no se encontraba contemplado este material pero el especialista sugirió su adición debido al aporte de los resultados para las especificaciones.

Tabla 35. Control de cambios en plan de ensayos para Base granular mejorada con Emulsión asfáltica

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios	
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad
Diseño grava-emulsión						
Preparación y curado de probetas de granular-emulsión para pruebas de compresión y flexión en el laboratorio (compresión)			INV E-613-13	60	Nuevo	Nuevo
Diseño de mezclas de agregados, reciclados o sin reciclar, con emulsión asfáltica, mediante el método de inmersión - compresión			INV E-622-13	2	Nuevo	Nuevo
Verificación del Diseño óptimo						
Efecto del agua sobre la resistencia a la compresión de las mezclas asfálticas compactadas (ensayo de inmersión-compresión)			INV E-738-13	2	Nuevo	Nuevo
Elaboración de probetas cilindricas, tipo Marshall			INV E-748-13	30	Nuevo	Nuevo
Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas			INV E-749-13	2	Nuevo	Nuevo

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios	
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad
Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada)			EN 12697-24	2	Nuevo	Nuevo

H.3.1.3.4 Base granular mejorada con cemento asfáltico

Para la base granular mejorada con cemento asfáltico que se tiene planeada realizar en el laboratorio de la Universidad, se presentan inicialmente el diseño y los ensayos que son necesarios para el mismo, y luego de escoger el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, se realizan los ensayos verificación de este.

En la Tabla 36, se observa que en el plan de ensayos de la etapa preliminar no se encontraba contemplado este material pero el especialista sugirió su adición debido al aporte de los resultados para las especificaciones

Tabla 36. Control de cambios en plan de ensayos para Base granular mejorada con Cemento asfáltico

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios	
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad
Diseño grava-asfalto						
Diseño de mezcla asfáltica (diseño volumétrico), método Marshall			-	2	Nuevo	Nuevo
Verificación del Diseño óptimo						
Susceptibilidad al agua de mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta			INV E-725-13	2	Nuevo	Nuevo
Elaboración de probetas cilindricas, tipo Marshall			INV E-748-13	44	Nuevo	Nuevo

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios	
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad
Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas			INV E-749-13	2	Nuevo	Nuevo
Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada)			EN 12697-24	2	Nuevo	Nuevo

H.3.1.4 Elaboración y caracterización de mezclas asfálticas convencionales

Dentro de este numeral se tienen planteados los diseños para: mezclas asfálticas de alto módulo, mezclas asfálticas densas en fío y mezclas asfálticas en caliente para almacenaje en frío.

H.3.1.4.1 Mezclas asfálticas de alto módulo

Inicialmente en el plan de ensayos de la etapa preliminar se planearon ensayos para 3 tipo de asfalto Tipo V pero para el plan de ensayos de la etapa de ejecución se modificó a diseños con 2 tipos de asfalto: Tipo V y 40/50. Debido a lo anterior, la cantidad de elaboración de probetas Tipo Marshall disminuyó la tercera parte como se puede observar en la Tabla 37.

Tabla 37. Control de cambios en plan de ensayos para Mezclas asfálticas de Alto Módulo

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Elaboración y Caracterización de Mezclas asfálticas de Alto Módulo							
Diseño de mezcla asfáltica (diseño volumétrico), método Marshall	-	3	-	2	Igual	Cambio de cantidad	

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Elaboración y Caracterización de Mezclas asfálticas de Alto Módulo							
Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta (TSR)	INV E-725-13	3	INV E-725-13	2	Igual	Cambio de cantidad	
Elaboración de probetas cilindricas, tipo Marshall	INV E-807-13	96	INV E-748-13	64	Cambio de norma	Cambio de cantidad	
Módulo Dinámico	INV E-754-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas			UNE EN-12697-26	2	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada)	EN 12697-24	3	EN 12697-24	2	Igual	Cambio de cantidad	
Resistencia bajo carga repetida (ahuellamiento)	UNE-EN 12697-2000	3	UNE-EN 12697-2000	2	Igual	Cambio de cantidad	
Moisture Induced Stress Tester (MIST)	-	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

H.3.1.4.2 Mezclas asfálticas densas en frío

Inicialmente en el plan de ensayos de la etapa preliminar se planearon ensayos para las emulsiones de rompimiento de los 3 tipos, pero para el plan de ensayos de la etapa de ejecución se modificó al diseño de 1 mezcla densa en frío, MAF12 con emulsión de rompimiento lento. Debido a lo anterior, la cantidad de elaboración de probetas Tipo Marshall disminuyó a la tercera parte como se puede observar en la Tabla 38.

Tabla 38. Control de cambios en plan de ensayos para Mezclas asfálticas densas en frío

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Elaboración y Caracterización de Mezclas asfálticas densas en frío							
Diseño de mezcla asfáltica (diseño volumétrico), método Marshall	-	3	-	1	Igual	Cambio de cantidad	
Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta (TSR)	INV E-725-13	3	INV E-725-13	1	Igual	Cambio de cantidad	
Elaboración de probetas cilindricas, tipo Marshall			INV E-748-13	32	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Módulo Dinámico	INV E-754-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Compactación probetas cilíndricas	INV E-807-13	96			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas			UNE EN-12697-26	1	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada)	EN 12697-24	3	EN 12697-24	1	Igual	Cambio de cantidad	
Resistencia bajo carga repetida (ahuellamiento)	UNE-EN 12697-2000	3	UNE-EN 12697-2000	1	Igual	Cambio de cantidad	
Moisture Induced Stress Tester (MIST)	-	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

H.3.1.4.3 Mezclas asfálticas en caliente para almacenaje en frío

En la Tabla 39, se puede observar otro material que no se encontraba inicialmente en el plan de ensayos y fue propuesto por el especialista para ser utilizado dentro de los aportes para las especificaciones técnicas.

Tabla 39. Control de cambios en plan de ensayos para Mezclas asfálticas en caliente para almacenaje en frío

Ensayo	Plan de ensayos anterior		Plan de ensayos nuevo		Control de cambios	
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad
Elaboración y Caracterización de Mezclas asfálticas en caliente para almacenaje en frío						
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por tamizado e hidrometría)			INV E 123 - 13	3	Nuevo	Nuevo
Diseño de mezcla asfáltica (diseño volumétrico), método Marshall			-	1	Nuevo	Nuevo
Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas			EN 12697-26	3	Nuevo	Nuevo

H.3.1.5 Elaboración y caracterización de mezclas asfálticas modificadas

Dentro de este numeral se tienen planteados los diseños para: mezclas asfálticas modificadas con GCR, por vía seca y por vía húmeda.

H.3.1.5.1 Mezclas asfálticas modificadas con GCR (vía seca)

En la Tabla 40, se puede observar que las cantidades entre los planes de ensayos no se modificaron ya que se va a realizó el diseño de mezcla con GCR de 3 diferentes proveedores.

Tabla 40. Control de cambios en plan de ensayos para Mezclas asfálticas en modificadas con GCR por Vía seca

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Diseño de mezcla asfáltica, método Marshall	-	3	-	3	Igual	Igual	
Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta (TSR)	INV E-725-13	3	INV E-725-13	3	Igual	Igual	
Elaboración de probetas cilindricas, tipo Marshall	INV E-807-13	96	INV E-748-13	96	Cambio de norma	Igual	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Módulo Dinámico	INV E-754-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas			UNE EN-12697-26	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó por sugerencia del especialista.
Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada)	EN 12697-24	3	EN 12697-24	3	Igual	Igual	
Resistencia bajo carga repetida (ahuellamiento)	UNE-EN 12697-2000	3	UNE-EN 12697-2000	3	Igual	Igual	
Moisture Induced Stress Tester (MIST)	-	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

H.3.1.5.2 Mezclas asfálticas modificadas con GCR (vía húmeda)

En la Tabla 41, se puede observar que inicialmente se tenían planeados realizar 3 diseños pero el especialista definió realizar solamente un diseño de mezcla Cemento asfáltico modificado con GCR Tipo II.

Tabla 41. Control de cambios en plan de ensayos para Mezclas asfálticas en modificadas con GCR por Vía húmeda

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Diseño de mezcla asfáltica (diseño volumétrico), método Marshall	-	3	-	1	Igual	Cambio de cantidad	
Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta (TSR)	INV E-725-13	3	INV E-725-13	1	Igual	Cambio de cantidad	
Elaboración de probetas cilindricas, tipo Marshall	INV E-807-13	96	INV E-748-13	32	Cambio de norma	Cambio de cantidad	
Módulo Dinámico	INV E-754-13	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.
Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas			UNE EN-12697-26	1	Nuevo	Nuevo	
Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada)	EN 12697-24	3	EN 12697-24	1	Igual	Cambio de cantidad	

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Resistencia bajo carga repetida (ahuellamiento)	UNE-EN 12697-2000	3	UNE-EN 12697-2000	1	Igual	Cambio de cantidad	
Moisture Induced Stress Tester (MIST)	-	3			Eliminado	Eliminado	Se eliminó por sugerencia del especialista.

H.3.1.6 Concreto hidráulico

En la Tabla 42, se puede observar que los ensayos en estado fresco del concreto se eliminaron debido a que los materiales fueron obtenidos de las plantas y las propiedades que realmente necesitaba el especialista eran en estado endurecido. Se obtuvieron muestras de 3 diferentes tipos de concreto.
La cantidad de 55 se debe a 5 repeticiones de 4 edades de falla para dos concretos convencionales y 5 repeticiones para 3 edades de falla de fast track.
La cantidad de 35 se debe a 10 ensayos para fast track y 25 para los concretos convencionales.
La cantidad de 15 se debe a 5 ensayos por cada uno de los 3 concretos.
Y finalmente la cantidad de 3 se debe a una repetición por tipo de concreto.

Tabla 42. Control de cambios en plan de ensayos para Concreto hidráulico.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios	
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad
5.1 Ensayos a material obtenido en planta		**21**		**108**		
Asentamiento del concreto	INV E-404-13	3			Eliminado	Eliminado

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios	
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad
5.1 Ensayos a material obtenido en planta		**21**		**108**		
Contenido de aire en el concreto fresco método de presión	INV E-406-13	3			Eliminado	Eliminado
Resistencia a la compresión de cilindros de concreto (moldeados o núcleos)	INV E-410-13	3	INV E-410-13	55	Igual	Cambio de cantidad
Ensayo de tracción indirecta de cilindros normales de concreto	INV E-411-13	3			Eliminado	Eliminado
Resistencia a la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre	INV E-414-13	3	INV E-414-13	35	Igual	Cambio de cantidad
Módulo de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto en compresión	NTC 4025	3	INV E-424-13	15	Cambio de norma	Cambio de cantidad
Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua	NTC 4483	3	NTC 4483	3	Igual	Igual

H.3.1.7 Paneles de pisos de puente peatonal prototipo para Bogotá

En la Tabla 43, se puede observar que para este numeral se plantearon tres (3) materiales, dentro de los cuales se encuentran:

- Paneles sintéticos
- Perfiles de aluminio
- Losetas prefabricadas de concreto

Tabla 43. Control de cambios en plan de ensayos para paneles de pisos de puente peatonal prototipo para Bogotá

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Pisos de material sintético							
Resistencia a la flexión para material de pisos sintéticos	ASTM D790	1	ASTM D790	1	Igual	Igual	
Método de prueba estándar para propiedades compresivas de plásticos rígidos			ASTM D695-15	5	Nuevo	Nuevo	
Módulo de elasticidad y relación de Poisson para material de pisos sintéticos			ASTM D638	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó ya que no se tenían planteados en el anterior plan de ensayos y es importante conocer estas propiedades de los materiales.
Fatiga para pisos sintéticos (simulación de 1 año)	Protocolo	1	Protocolo	5	Igual	Cambio de cantidad	La cantidad del ensayo cambió debido a que la simulación definida por el grupo de trabajo cambió.
Ensayo de punzonamiento sobre perfil sintético	Protocolo	1	Protocolo	1	Igual	Igual	
Desgaste para entrepisos sintéticos	ASTM D 3389	1	ASTM D 3389	1	Igual	Igual	
Envejecimiento para paneles sintéticos, perfiles de aluminio y losetas prefabricadas	-	1			Eliminado	Eliminado	Se eliminó debido a que los anteriores ensayos planeados no son aplicables a los materiales.
Adherencia o fricción para paneles sintéticos, perfiles	-	1			Eliminado	Eliminado	Se eliminó debido a que los anteriores ensayos planeados no son aplicables a los materiales.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
de aluminio y losetas prefabricadas							
Pisos de aluminio							
Resistencia a la flexión para material de pisos de aluminio	ASTM E290	1	ASTM E290	1	Igual	Igual	
Módulo de elasticidad y tensión de aluminio			ASTM E8/E8M	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó ya que no se tenían planteados en el anterior plan de ensayos y es importante conocer estas propiedades de los materiales.
Fatiga para pisos aluminio (simulación de 1 año)	Protocolo	1	Protocolo	5	Igual	Cambio de cantidad	La cantidad del ensayo cambió debido a que la simulación definida por el grupo de trabajo cambió.
Ensayo de punzonamiento sobre perfil de aluminio	Protocolo	1	Protocolo	1	Igual	Igual	
Desgaste para entrepisos de aluminio	ASTM D 3389	1	ASTM D 3389	1	Igual	Igual	
Composición química para perfiles de aluminio	-	3			Eliminado	Eliminado	
Envejecimiento para paneles sintéticos, perfiles de aluminio y losetas prefabricadas	-	1			Eliminado	Eliminado	Se eliminó debido a que los anteriores ensayos planeados no son aplicables a los materiales.

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Adherencia o fricción para paneles sintéticos, perfiles de aluminio y losetas prefabricadas	-	1			Eliminado	Eliminado	Se eliminó debido a que los anteriores ensayos planeados no son aplicables a los materiales.
Pisos de concreto							
Resistencia a la flexión para material de pisos de concreto	ASTM C78	1	ASTM C78	1	Igual	Igual	
Resistencia a compresión para material de pisos de concreto	INV E - 410 -13	3	INV E - 410 -13	3	Igual	Igual	
Módulo de elasticidad para entrepisos de losetas prefabricadas			INV E - 424 -13	3	Nuevo	Nuevo	Se adicionó ya que no se tenían planteados en el anterior plan de ensayos y es importante conocer estas propiedades de los materiales.
Fatiga para pisos concreto (simulación de 1 año)	Protocolo	1	Protocolo	5	Igual	Cambio de cantidad	La cantidad del ensayo cambió debido a que la simulación definida por el grupo de trabajo cambió.
Ensayo de punzonamiento sobre perfil de concreto	Protocolo	1	Protocolo	1	Igual	Igual	
Desgaste para entrepisos de concreto	ASTM D 3389	1	ASTM D 3389	1	Igual	Igual	

Ensayo	Plan de ensayos etapa preliminar		Plan de ensayos etapa de ejecución		Control de cambios		Observaciones
	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	Norma	Cantidad	
Envejecimiento para paneles sintéticos, perfiles de aluminio y losetas prefabricadas	-	1			Eliminado	Eliminado	Se eliminó debido a que los anteriores ensayos planeados no son aplicables a los materiales.
Adherencia o fricción para paneles sintéticos, perfiles de aluminio y losetas prefabricadas	-	1			Eliminado	Eliminado	Se eliminó debido a que los anteriores ensayos planeados no son aplicables a los materiales.

H.3.2 BALANCE DE ENSAYOS EJECTUTADOS

La cantidad de repeticiones de ensayos de campo y laboratorio ejecutados durante el desarrollo del contrato, fueron plasmados en los 12 informes mensuales de insumos, aprobados por el Instituto de Desarrollo Urbano, ilustradas a continuación en la **Tabla 44**. Cabe resaltar que fueron realizados ensayos en el marco de las competencias del Instituto, como considera el numeral 6.2.2 del Anexo Técnico Separable, en donde fueron tomados en cuenta algunos de los resultados como aporte para el análisis de materiales.

Tabla 44. Cantidad de ensayos ejecutados mensualmente

Informe de insumos No	Cantidad de ensayos ejecutados
1	113
2	299
3	11
4	170
5	48
6	258
7	146
8	24
9	571
10	330
11	1440
12	383

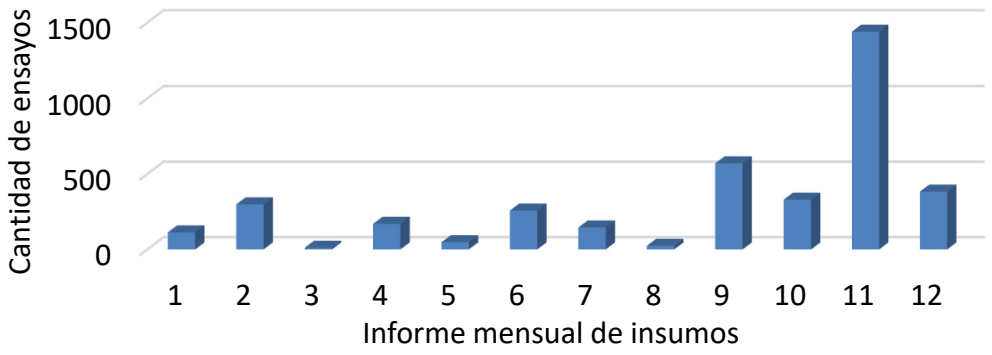


Ilustración 1. Cantidad de ensayos ejecutados por informe mensual de insumos

En el Anexo 3.2., se encuentra el balance delos 12 informes mensuales de insumos, relacionados con su correspondiente informe de resultados.

Dentro del contrato se realizaron más de 3500 ensayos de campo y laboratorio durante el proyecto y de estos, más de 100 tipos de ensayos. Con estos ensayos se evaluaron propiedades químicas, físicas, mecánicas y/o dinámicas de los siguientes materiales.

- Cemento hidráulico
- Cal
- Grano de caucho reciclado
- Rajón
- Emulsiones asfálticas
- Cementos asfálticos
- Agregados naturales
- Agregados provenientes de Residuos de Construcción y Demolición.
- Mezclas asfálticas
- Concretos hidráulicos
- Suelo – cemento
- Materiales alternativos para pisos de puentes peatonales prototipo para Bogotá

A continuación, en las siguientes tablas e ilustraciones, serán relacionadas las cantidades de procedimientos y de repeticiones de ensayos ejecutados para cada material.

Tabla 45. Materiales básicos

Material	Cantidad de procedimientos de ensayo	Cantidad de repeticiones de ensayo
Subrasante	13	43
Cemento hidráulicó	6	18
Cal	1	3
GCR	1	6
Rajón	2	4
Emulsión asfáltica	9	27
Asfalto convencional	7	45
Original	6	18
Envejecido RTFO	4	12
Envejecido PAV	5	15
Asfalto modificado con polimeros	8	96
– Original	7	42
– Envejecido RTFO	4	24
– Envejecido PAV	5	30
Asfalto 40-50	7	45
– Original	6	18
– Envejecido RTFO	4	12
– Envejecido PAV	5	15
Asfalto GCR	8	48
– Original	7	21
– Envejecido RTFO	4	12
– Envejecido PAV	5	15

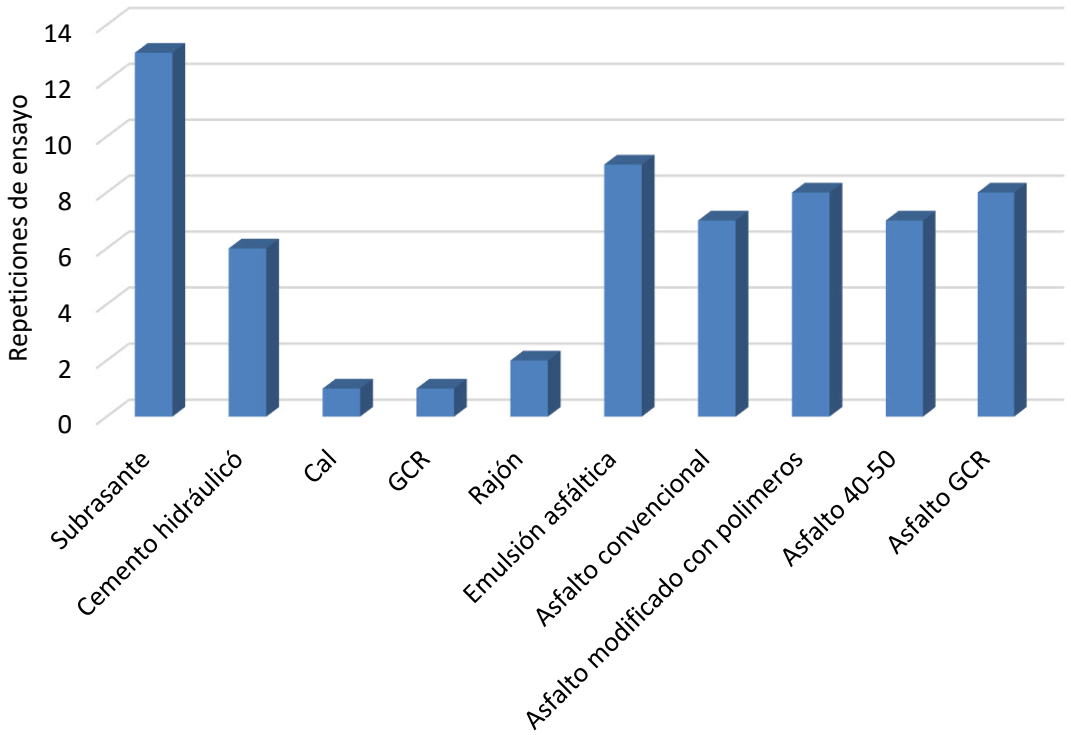


Ilustración 2. Cantidad de procedimientos de ensayo para materiales básicos

Tabla 46. Agregados

Material	Cantidad de procedimientos de ensayo	Cantidad de repeticiones de ensayo
De cantera	21	80
De proyectos en ejecución	22	145
Con RAP	27	102
Con RAP de proyectos en ejecución	22	22
Para mezclas asfálticas	16	104
Residuos de Construcción y Demolición - RCD	23	1775
Granulares RAP	9	19
Granulares RCD	12	45

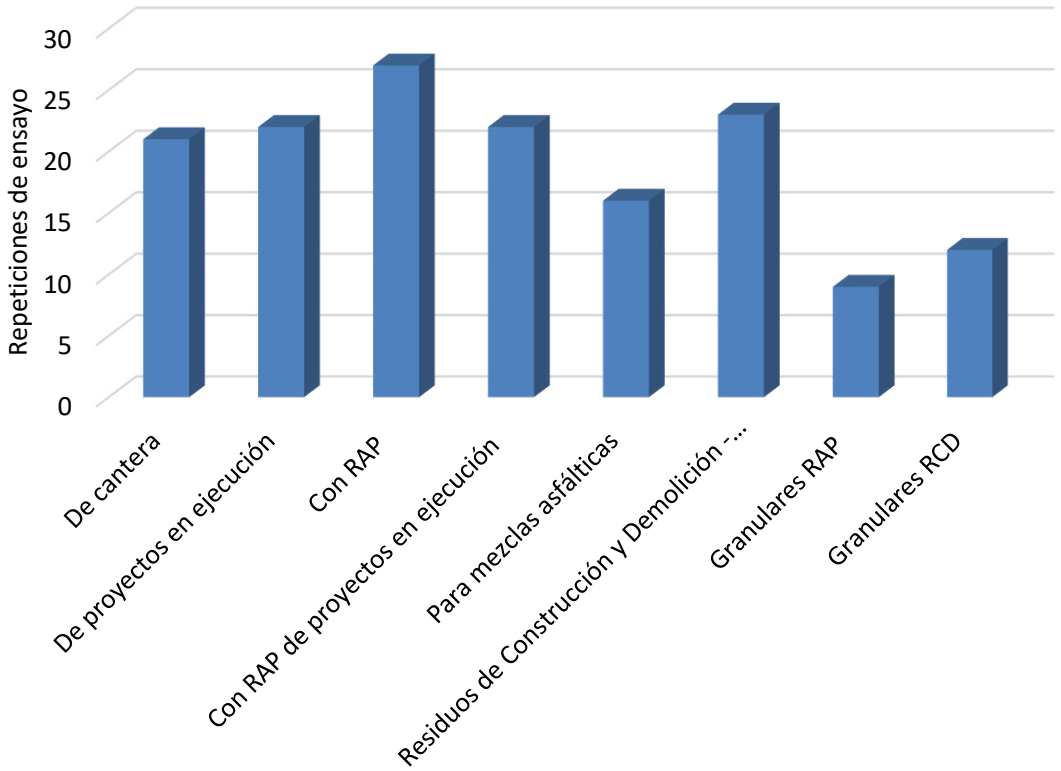


Ilustración 3. Cantidad de ensayos para agregadso

Tabla 47. Mejoramientos y estabilizaciones con materiales cementantes

Material	Cantidad de procedimientos de ensayo	Cantidad de repeticiones de ensayo
Suelo cemento [1]	7	120
Suelo cemento [2]	4	19
BG mejorada con cemento hidráulico [1]	4	86
BG mejorada con cemento hidráulico [2]	4	36
BG con emulsión asfáltica [1]	2	62
BG con emulsión asfáltica [2]	4	36
BG con cemento asfaltico [1]	2	2
BG con cemento asfaltico [1]	4	50

[1] Diseño

[2] Verificación del diseño

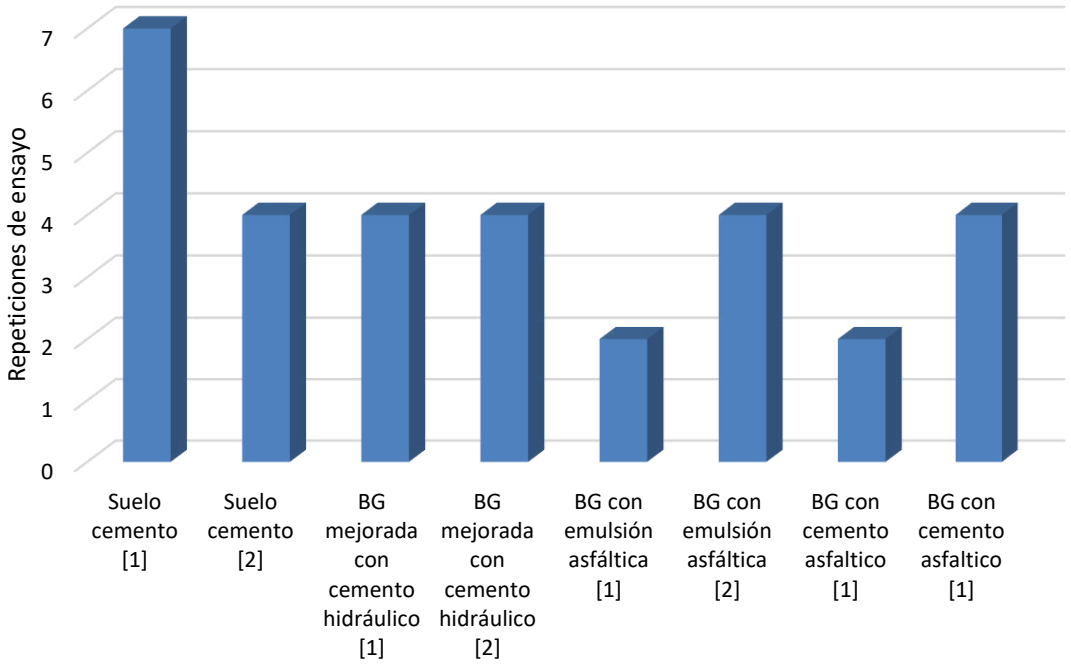


Ilustración 4. Cantidad de ensayo para mejoramiento y estabilización de materiales

Tabla 48. Concreto ssfáltico e hidráulico

Material	Cantidad de procedimientos de ensayo	Cantidad de repeticiones de ensayo
Mezcla asfáltica de alto módulo	6	74
Mezcla asfáltica fria	6	37
Mezcla asfáltica en caliente abierta	3	7
Mezcla asfáltica con GCR por via seca	6	111
Mezcla asfáltica con GCR por via húmeda	6	37
Concreto hidráulico	4	108

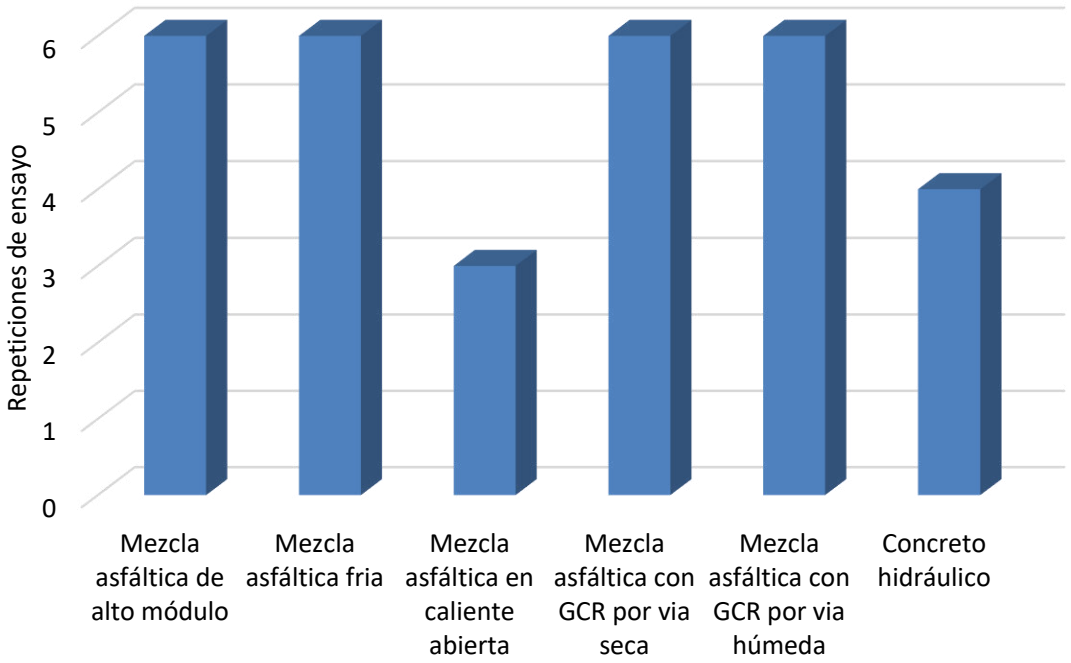


Ilustración 5. Cantidad de ensayos para concreto asfáltico e hidráulico

Tabla 49. Materiales para puentes peatonales

Material	Cantidad de procedimientos de ensayo	Cantidad de repeticiones de ensayo
Material sintético	6	16
Aluminio	5	11
Concreto	6	14

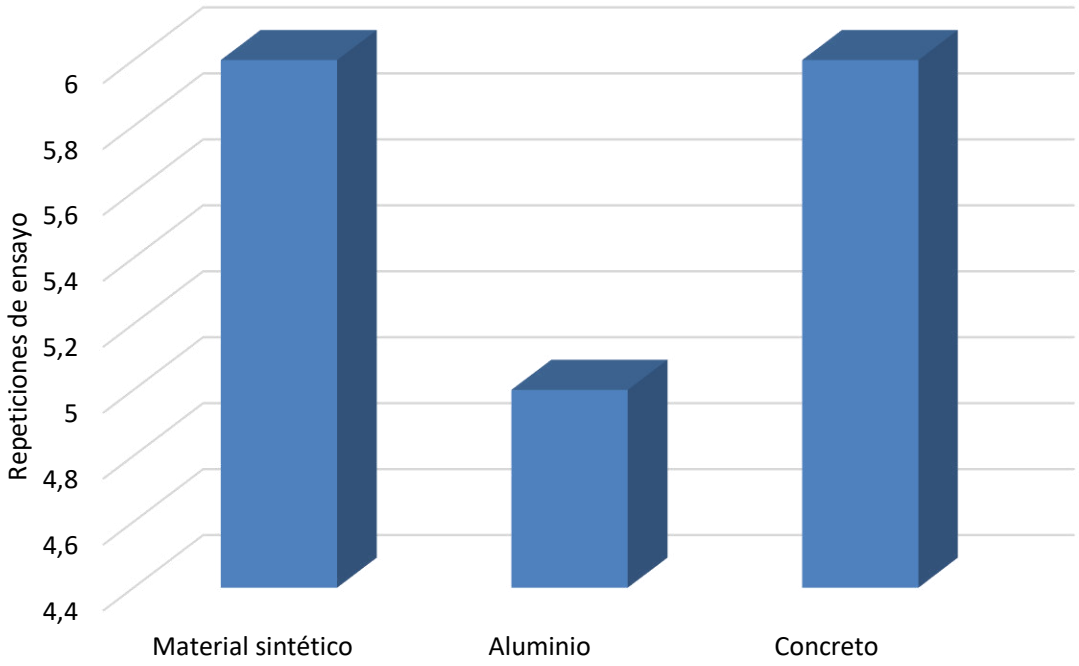


Ilustración 6. Cantidad de ensayos para materiales para pisos de puentes peatonales

H.3.3 INFORMES DE RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS EN LA ETAPA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

En el Anexo 3.3 se encuentran 343 informes de resultados de ensayos físicos, químicos, mecánicos y dinámicos, realizados durante la etapa de ejecución, para los materiales muestreados; los cuales cumplen con los requerimientos fijados en el Plan de Calidad, y requerido en el Anexo Técnico del contrato.

H.3.4 PROTOCOLOS DE ENSAYOS

A lo largo del proyecto, se observó la necesidad de realizar algunos protocolos de ensayos debido a que no existe norma que aplique para realizar los ensayos que se querían evaluar. Dentro de estos se encuentran los protocolos para:

- Determinación del tamaño de los bloques
- Protocolo de ensayo de fatiga por aceptacion para pisos en aluminio de puentes peatonales prototipo para Bogotá
- Protocolo de ensayo de fatiga por aceptacion para pisos en concreto de puentes peatonales prototipo para Bogotá
- Protocolo de ensayo de fatiga por aceptacion para pisos en material sintético de puentes peatonales prototipo para Bogotá

- Protocolo de ensayo de punzonamiento simple para pisos de puentes peatonales prototipo para Bogotá

Por lo anterior, en el Anexo 3.4 se encuentran los protocolos mencionados.

H.3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS

En el capítulo actual se van a presentar los diferentes análisis realizados para los materiales contemplados en el proyecto los cuales son: suelos de subrasante, cemento hidráulico, Cal, GCR, Rajón, Emulsiones asfálticas, cemento asfáltico 60-70, cemento asfáltico modificado, cemento asfáltico 40-50, cemento asfáltico modificado con GCR, Agregados pétreos para bases y Subbases obtenidos de cantera y de proyectos en ejecución, RAP obtenido de plantas de almacenamiento, Agregados pétreos de Subbase adicionada con RAP, Agregados pétreos para mezclas asfálticas, RCD, diseño de granulares con RAP, diseño de subbase granular con RCD, Estabilización de subrasante con cemento hidráulico, diseño de base mejorada con cemento, diseño de base mejorada con emulsión asfáltica, diseño de base mejorada con cemento asfáltico, Mezclas asfálticas de Alto Módulo (MAM), Mezcla asfáltica densa en frío, Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío, Mezcla asfáltica modificada con GCR por vía húmeda y seca, concreto hidráulico, láminas de aluminio para pisos de puente peatonal prototipo para Bogotá, láminas de material sintético para pisos de puente peatonal prototipo para Bogotá y láminas de concreto para pisos de puente peatonal prototipo para Bogotá.

Adicionalmente, en el presente capítulo se presenta un análisis estadístico de los diferentes resultados de laboratorio que se han obtenido para los materiales, para el tratamiento estadístico de los mismos se utilizaron los descriptores estadísticos básicos: media, mediana moda, desviación estándar y análisis de confiabilidad de acuerdo con la distribución t de Student de dos colas. Es importante tener presente que la aplicación se realizó en cada caso de acuerdo con el número de muestras ensayadas.

H.3.5.1 SUELOS DE SUBRASANTE

Luego de verificar los suelos de subrasante muestreados en la ciclorruta de la calle 116 y de acuerdo con las características observadas, este material sería un depósito de origen antrópico ya que, de acuerdo con las propiedades obtenidas, estas son muy diferentes de las propiedades de los suelos característicos de origen natural que se presentan en dicho sector de la ciudad. En la Ilustración 9, se puede observar que dentro del material se encuentran terrones de material natural y fragmentos de escombro aglutinados, lo cual significa que a dicho material se realizó un mejoramiento con anterioridad.

Por otra parte, el material obtenido en la Av. Bosa sí presenta unas condiciones normales en cuanto a sus parámetros respecto de los suelos típicos de ese sector de la ciudad, motivo por el cual fue el suelo usado de referencia para las verificaciones de suelo cemento. Si bien el alcance solo contempló la caracterización de solo dos sitios, a continuación, se presentan una discusión de los resultados obtenidos, teniendo en cuenta que la aplicación de estadísticas no resulta adecuada.

Los resultados de los ensayos reportados son usados como referencia para las especificaciones de excavaciones, conformación y mejoramientos de la subrasante.

Ilustración 7. Detalle fragmentos de ladrillo y material de demolición material de subrasante

Ilustración 8. Detalle fragmentos de ladrillo y material de demolición material de subrasante

Ilustración 9. Detalle de material aglutinado

- Determinación del contenido orgánico en suelos mediante el ensayo de pérdida por ignición (**INV E 121-13**).

Tabla 50. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material Subrasante

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-121 Contenido de materia orgánica			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 310-18
Subrasante	P069-2	Av Bosa	1,90	-	2,00	Cumple
Subrasante	P062-6	Calle 116	13,68	-	2,00	No cumple
Subrasante	P069-1-1	Av Bosa	2,10	-	2,00	No cumple
Subrasante	P069-1-2	Av Bosa	2,23	-	2,00	No cumple

Se realizaron 4 ensayos, 3 correspondientes a la Avenida Bosa y uno a la calle 116, los valores de materia orgánica de la Av. Bosa son más bajos y en su valor medio (2.1%) se acercan a los contenidos especificados para materiales tolerables por la especificación 320-11, mientras que los obtenidos de la calle 116 no cumplirían con ninguno de los materiales considerados.

- Determinación de la humedad **(INV E 122-13**).

Tabla 51. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material Subrasante

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-122 w(%) 1# Golpes	INV E-122 w(%) 2# Golpes	INV E-122 w(%) 3# Golpes
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Subrasante	P069-1	Av Bosa	34,8	33,3	31,9
Subrasante	P062-4	Calle 116	63.0	65,2	66,8
Subrasante	P069-1-1	Av Bosa	32,5	33,9	35.0
Subrasante	P069-1-2	Av Bosa	32,6	33,5	34,7

De las muestras se realizaron las verificaciones de las humedades y sus cambios debido a condiciones de ensayo, este es un parámetro de referencia que se utiliza para verificar la condición de las muestras antes y durante los procesos. Las humedades determinadas permiten comprobar una estabilidad de las muestras estudiadas sin mayores alteraciones.

- Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por tamizado e hidrometría) (**INV E 123-13**).

Tabla 52. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para el material Subrasante

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-123 Tamaño máximo (mm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 310-18
Subrasante	P069-1	Av Bosa	0,075	-	150	Cumple
Subrasante	P062-4	Calle 116	0,425	-	150	Cumple
Subrasante	P069-1-1	Av Bosa	0,425	-	150	Cumple
Subrasante	P069-1-2	Av Bosa	0,425	-	150	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-123 Pasa Tamiz No 200 (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 310-18
Subrasante	P069-1	Av Bosa	100	-	35	No cumple
Subrasante	P062-4	Calle 116	93	-	35	No cumple
Subrasante	P069-1-1	Av Bosa	98	-	35	No cumple
Subrasante	P069-1-2	Av Bosa	98	-	35	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-123 Pasa Tamiz No 10 (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 310-18
Subrasante	P069-1	Av Bosa	100	-	80	No cumple
Subrasante	P062-4	Calle 116	100	-	80	No cumple
Subrasante	P069-1-1	Av Bosa	100	-	80	No cumple
Subrasante	P069-1-2	Av Bosa	100	-	80	No cumple

Tabla 53. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13, muestra P069-1_1

TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
76,1	3"	100%	±	0,00%	*
64,0	2.5"	100%	±	0,00%	*
50,8	2"	100%		0,00%	*
38,1	1 1/2"	100%	±	0,00%	*
25,4	1"	100%	±	0,00%	*
19,0	3/4"	100%	±	0,00%	*
9,5	3/8"	100%	±	0,00%	*
4,8	No. 4	100%	±	0,00%	*
2,0	No. 10	100%	±	0,00%	*
0,9	No. 20	100%	±	0,00%	*
0,425	No. 40	100%	±	0,00%	*
0,250	No. 60	99%	±	2,09%	*
0,106	No. 140	99%	±	2,36%	*
0,075	No. 200	98%	±	3,26%	*

Análisis por Hidrómetro:

Peso de la muestra seca al aire	60,2	(g)
Humedad higroscopica	0,80	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	59,8	(g)
Gravedad Específica de finos	2,664	(Gs)
Factor de Correción por Gs	0,996	(α)
Corrección por Defloculante	6,0	(g/l)

Análisis por Tamizado:

Tamaño máximo	0,425	(mm)
Gravas	0	(%)
Arenas	2	(%)
Arena Gruesa	0	(%)
Arena Media	0	(%)
Arena Fina	2	(%)
Finos	98	(%)

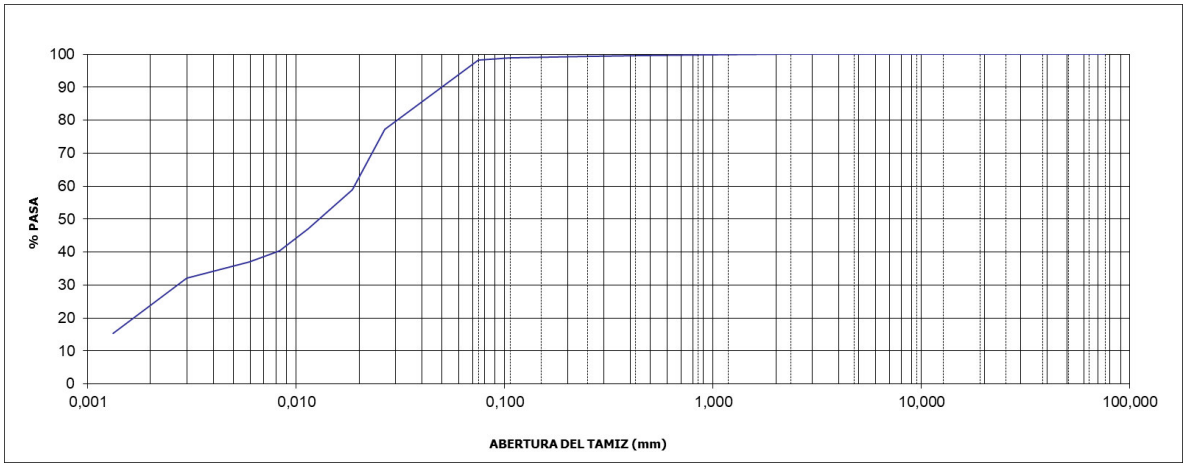


Tabla 54. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13, muestra P069-1_2

TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
76,1	3"	100%	±	0,00%	*
64,0	2.5"	100%	±	0,00%	*
50,8	2"	100%		0,00%	*
38,1	1 1/2"	100%	±	0,00%	*
25,4	1"	100%	±	0,00%	*
19,0	3/4"	100%	±	0,00%	*
9,5	3/8"	100%	±	0,00%	*
4,8	No. 4	100%	±	0,00%	*
2,0	No. 10	100%	±	0,00%	*
0,9	No. 20	100%	±	0,00%	*
0,425	No. 40	100%	±	0,00%	*
0,250	No. 60	99%	±	2,09%	*
0,106	No. 140	99%	±	2,35%	*
0,075	No. 200	98%	±	3,25%	*

Análisis por Hidrómetro:

Peso de la muestra seca al aire	60,2	(g)
Humedad higroscopica	4,83	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	57,3	(g)
Gravedad Específica de finos	2,664	(Gs)
Factor de Correción por Gs	0,996	(α)
Corrección por Defloculante	6,0	(g/l)

Análisis por Tamizado:

Tamaño máximo	0,425	(mm)
Gravas	0	(%)
Arenas	2	(%)
Arena Gruesa	0	(%)
Arena Media	0	(%)
Arena Fina	2	(%)
Finos	98	(%)

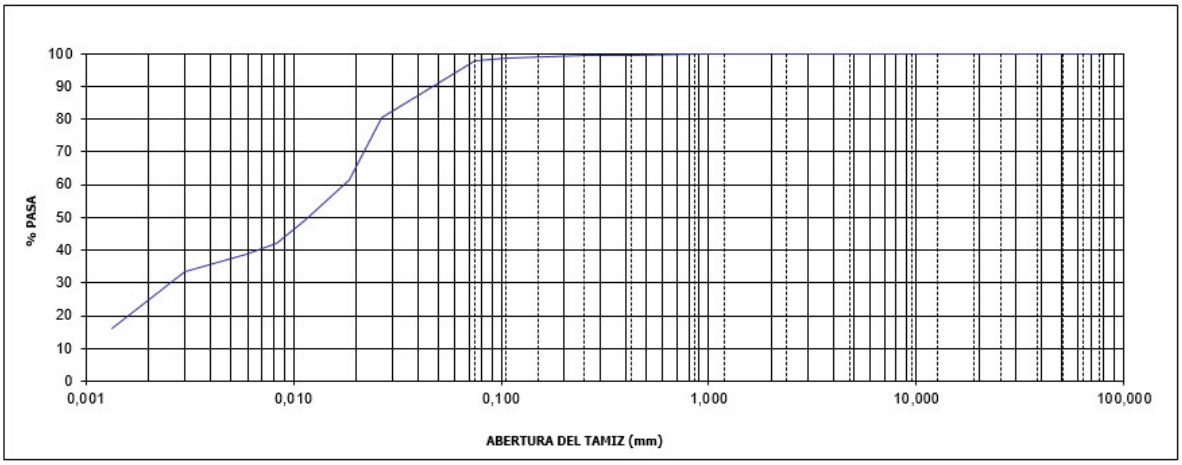


Tabla 55. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13, muestra P069-1

TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
76,1	3"	100%	±	0,00%	*
64,0	2.5"	100%	±	0,00%	*
50,8	2"	100%		0,00%	*
38,1	1 1/2"	100%	±	0,00%	*
25,4	1"	100%	±	0,00%	*
19,0	3/4"	100%	±	0,00%	*
9,5	3/8"	100%	±	0,00%	*
4,8	No. 4	100%	±	0,00%	*
2,0	No. 10	100%	±	0,00%	*
0,9	No. 20	100%	±	0,00%	*
0,425	No. 40	100%	±	0,00%	*
0,250	No. 60	100%	±	0,00%	*
0,106	No. 140	100%	±	0,00%	*
0,075	No. 200	100%	±	0,00%	*

Análisis por Hidrómetro:

Peso de la muestra seca al aire	60,0	(g)
Humedad higroscopica	1,85	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	58,9	(g)
Gravedad Específica de finos	2,664	(Gs)
Factor de Correción por Gs	0,996	(α)
Corrección por Defloculante	6,0	(g/l)

Análisis por Tamizado:

Tamaño máximo	0,075	(mm)
Gravas	0	(%)
Arenas	0	(%)
Arena Gruesa	0	(%)
Arena Media	0	(%)
Arena Fina	0	(%)
Finos	100	(%)

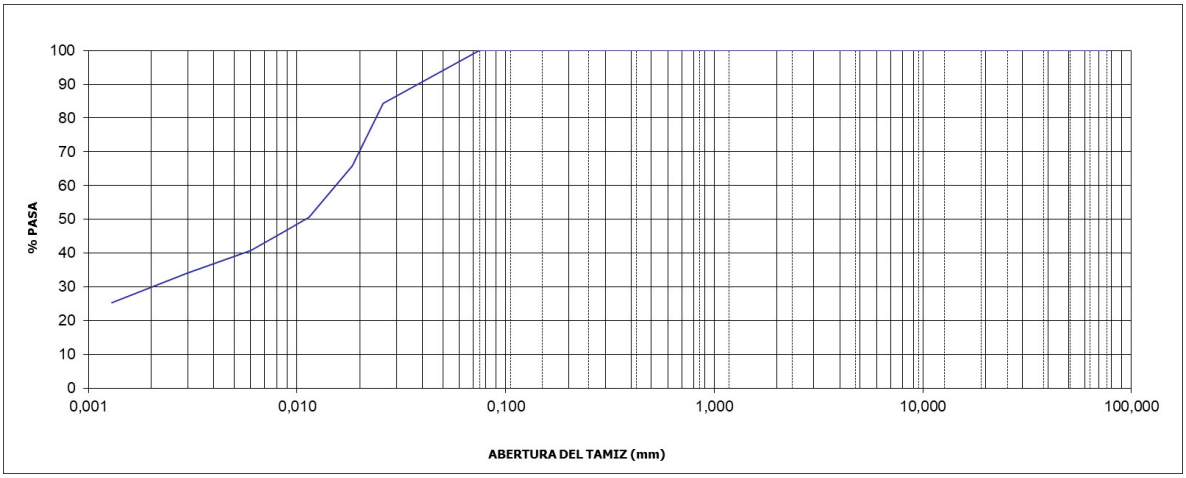


Tabla 56. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13, muestra P062-4

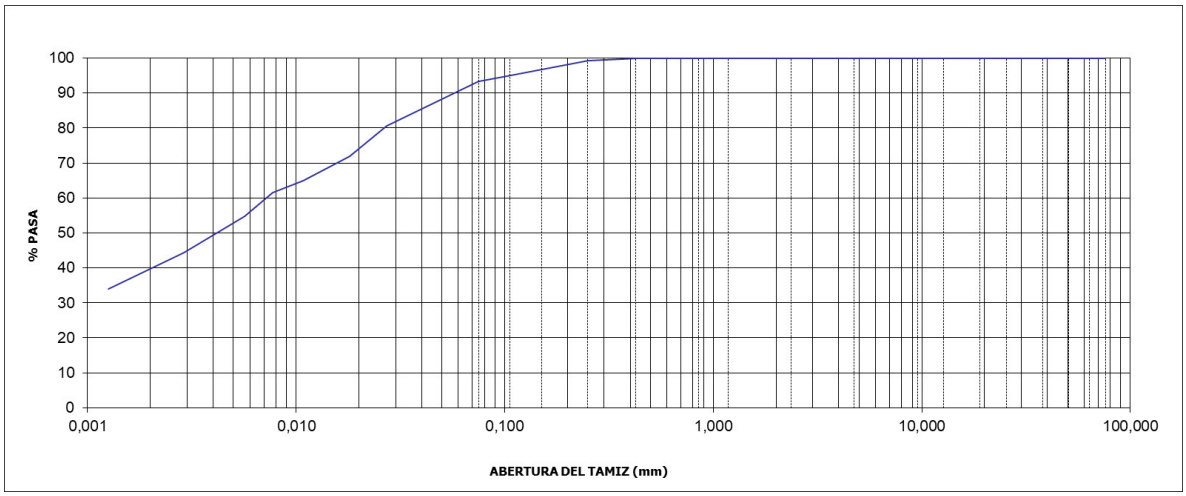
TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
76,1	3"	100%	±	0,00%	*
64,0	2.5"	100%	±	0,00%	*
50,8	2"	100%		0,00%	*
38,1	1 1/2"	100%	±	0,00%	*
25,4	1"	100%	±	0,00%	*
19,0	3/4"	100%	±	0,00%	*
9,5	3/8"	100%	±	0,00%	*
4,8	No. 4	100%	±	0,00%	*
2,0	No. 10	100%	±	0,00%	*
0,9	No. 20	100%	±	0,00%	*
0,425	No. 40	100%	±	0,00%	*
0,250	No. 60	99%	±	2,09%	*
0,106	No. 140	95%	±	2,27%	*
0,075	No. 200	93%	±	3,10%	*

Análisis por Hidrómetro:

Peso de la muestra seca al aire	60,9	(g)
Humedad higroscopica	5,68	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	57,4	(g)
Gravedad Específica de finos	2,639	(Gs)
Factor de Correción por Gs	1,002	(α)
Corrección por Defloculante	5,0	(g/l)

Análisis por Tamizado:

Tamaño máximo	0,425	(mm)
Gravas	0	(%)
Arenas	7	(%)
Arena Gruesa	0	(%)
Arena Media	0	(%)
Arena Fina	7	(%)
Finos	93	(%)



Las muestras ensayadas clasifican como suelos de tipo fino su pasante de tamiz 200 es superior al 90% para todas, si bien algunas se reporta una pequeña fracción de arenas inferior al 10%, esta fracción no es significativa y pueden corresponder a agregaciones de los mismos finos, estos resultados están acordes con la naturaleza esperada, y ponen de manifiesto la necesidad de que en las especificaciones se requiera la aplicación obligatoria de ensayos de hidrometría para caracterización adecuada de la subrasante y discriminaciones entre fracciones de arenas muy finas, limos y arcillas o fracciones coloidales

- Determinación del límite líquido de los suelos (**INV E 125-13**) y Determinación del límite plástico e índice de plasticidad para suelos (**INV E 126-13**).

Tabla 57. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material Subrasante

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-125 LL			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 310-18
Subrasante	P069-1	Av Bosa	33	-	40	Cumple
Subrasante	P062-4	Calle 116	64	-	40	No cumple
Subrasante	P069-1-1	Av Bosa	34	-	40	Cumple
Subrasante	P069-1-2	Av Bosa	34	-	40	Cumple

Tabla 58. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material Subrasante

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-126 LP	INV E-126 IP			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 310-18
Subrasante	P069-1	Av Bosa	12	21	-	15	No cumple
Subrasante	P062-4	Calle 116	28	37	-	15	No cumple
Subrasante	P069-1-1	Av Bosa	13	21	-	15	No cumple
Subrasante	P069-1-2	Av Bosa	12	22	-	15	No cumple

Se realizaron 4, ensayos 3 correspondientes a la Avenida Bosa y uno a la calle 116, los valores de límite liquido de la Av. Bosa son más bajos y en su valor medio (33.6%) cumplirían con los valores especificados para materiales adecuados y tolerables por la especificación 320-11, mientras que el valor de la calle 116 no cumplirían con ninguno de los materiales considerados. Por otra parte, la analizar el Índice de plasticidad, ninguno de los materiales cumpliría con lo requerido.

- Determinación de los factores de contracción de los suelos (**INV E 127-13).**

Tabla 59. Resultados obtenidos del ensayo INV E 127-13 para el material Subrasante

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-127 Límite de contracción (%)	INV E-127 Relación de contracción
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Subrasante	P069-1-1	Av Bosa	11	1,67
Subrasante	P069-1-2	Av Bosa	11	1,78

Al revisar los ensayos de límites resultados de los ensayos de límites de contracción y de factores de contracción se puede observar como los materiales se ubican en rangos de susceptibilidad a la humedad medios a altos, lo que desencadenara cambios volumétricos con ligeros incrementos de humedad, lo que verifica la viabilidad de usar los materiales para procesos de mejoramiento.

- Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y de la llenante mineral, empleando un picnómetro con agua (**INV E 128-13**).

Tabla 60. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material Subrasante

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-128 Gravedad específica
			Resultados Obtenidos
Subrasante	P069-1	Av Bosa	2,664
Subrasante	P062-6	Calle 116	2,639
Subrasante	P069-1-1	Av Bosa	2,616
Subrasante	P069-1-2	Av Bosa	2,617

Los valores de pesos específicos de los dos sitios son muy similares con un promedio de 2.63, el cual es un valor normal para este tipo de suelos.

- Determinación de suelos expansivos (Expansión libre en consolidómetro) (**INV E 132-07 método B**).

Tabla 61. Resultados obtenidos del ensayo INV E 132-07 Método B para el material Subrasante

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-132-07 Suelos expansivos- Expansión máxima (%)	INV E-132-07 Suelos expansivos- Deformación vertical εv (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Subrasante	P069-1	Av Bosa	0	-0,72

Se verificó para el suelo de la Av. Bosa y no se observó expansión del material, lo que es coincidente con los valores de plasticidad observados en los materiales de esta zona.

- Ensayos de masa unitaria **(INV-141-13).**

Tabla 62. Resultados obtenidos del ensayo INV E 141-13 para el material Subrasante

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-141 γd óptimo (kN/m3)	INV E-141 W óptimo (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Subrasante	P069-1	Av Bosa	17,9	16

Los resultados de este ensayo corresponden a insumos que se requerían para los diseños de suelo cemento, los valores reportados están dentro de los rangos normales.

- CBR sobre muestra inalterada (**INV E 148-13**).

Tabla 63. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material Subrasante

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E 148-13 CBR Penetración al crítico (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor mín	Valor máx	Según Especificación 310-18
Subrasante	P069-4	Av Bosa	3,19	3	-	Cumple
Subrasante	P069-5	Av Bosa	2,75	3	-	No cumple
Subrasante	P069-6	Av Bosa	2,61	3	-	No cumple
Subrasante	P062-1	Calle 116	2,32	3	-	No cumple
Subrasante	P062-2	Calle 116	2,75	3	-	No cumple
Subrasante	P062-3	Calle 116	2,61	3	-	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E 148-13 Expansión Total (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor mín	Valor máx	Según Especificación 320-18
Subrasante	P069-4	Av Bosa	0,83	-	3	Cumple
Subrasante	P069-5	Av Bosa	0,98	-	3	Cumple
Subrasante	P069-6	Av Bosa	0,45	-	3	Cumple
Subrasante	P062-1	Calle 116	0,35	-	3	Cumple
Subrasante	P062-2	Calle 116	0,37	-	3	Cumple
Subrasante	P062-3	Calle 116	0,57	-	3	Cumple

Una vez consolidados los resultados de los ensayos de CBR de los dos sitios explorados se puede concluir lo siguiente:

Del sitio de la cicloruta de la 116 los valores obtenidos (CBR 0.1” a humedad natural entre 5.7-9.1), no corresponden con los valores típicos esperados para las subrasantes típicas de Bogotá inferiores a 5%, al observar la textura, la distribución de partículas con un 40% de partículas de tamaño de arcillas y el contenido de materia orgánica 13%, se observa que corresponde a un material que ha sido modificado previamente y no corresponde un material insitu, los valores altos de resistencia contrastados con la baja actividad permiten inferir que este material corresponde a una capa previamente estabilizada motivo por el cual no resulto útil como material para aplicar modificaciones.

Para el segundo material de la intersección avenida Cali y con Agoberto Mejia, los valores obtenidos de CBR todos están por debajo de 5%, correspondiendo con lo esperado para los materiales típicos de Bogotá, lo que coincide con la actividad y con las distribuciones de tamaños.

El mismo fenómeno se puede observar al analizar el comportamiento de los módulos resilientes para los dos materiales donde para el material correspondiente a la cicloruta de la 116 los valores oscilan entre 60-70 MPa mientras que el material de subrsanate de la intersección de laavenida Cali el módulo varía entre 27-14 MPa, lo que muestra claramente un incremento de casi tres veces la resistencia promedio, estando muy por fuera del comportamiento esperado el observado para el material de la 116 debido a las condiciones índices observadas para este.

- Módulo Resiliente (**INV E 156-13**).

Tabla 64. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material Subrasante

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-156-13 Módulo resiliente de suelos y agregados (MPa)
			Resultados obtenidos
Subrasante	P069-1	Av Bosa	14,20
Subrasante	P062-4	Calle 116	62,9
Subrasante	P069-1-1	Av Bosa	17,9
Subrasante	P069-1-2	Av Bosa	14,1

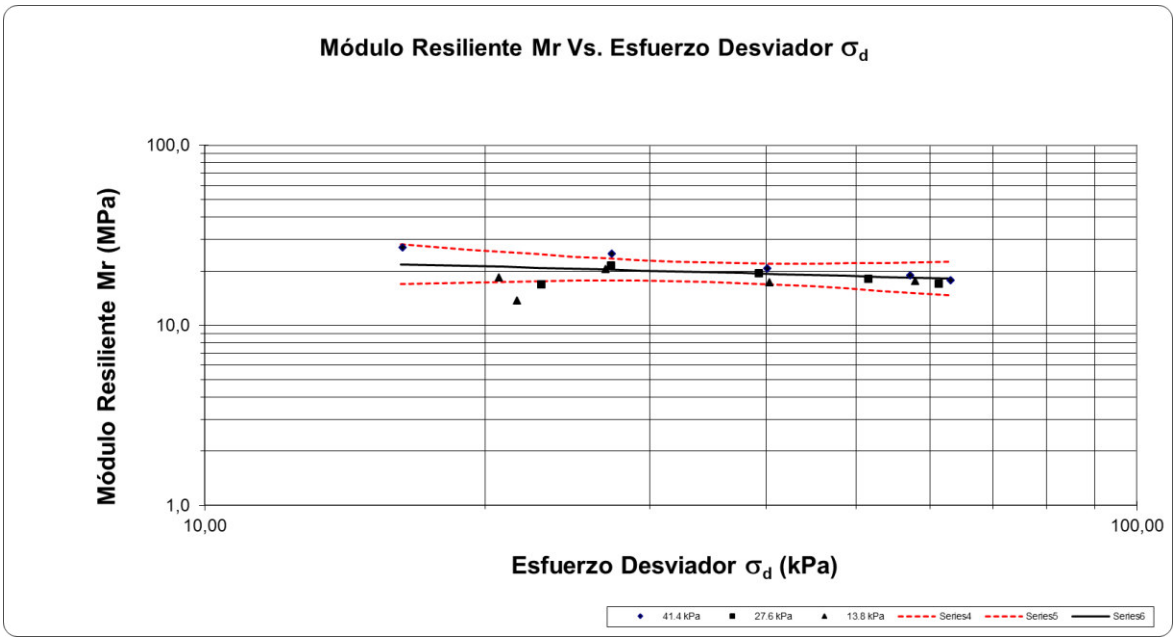


Ilustración 10. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P069-1_1

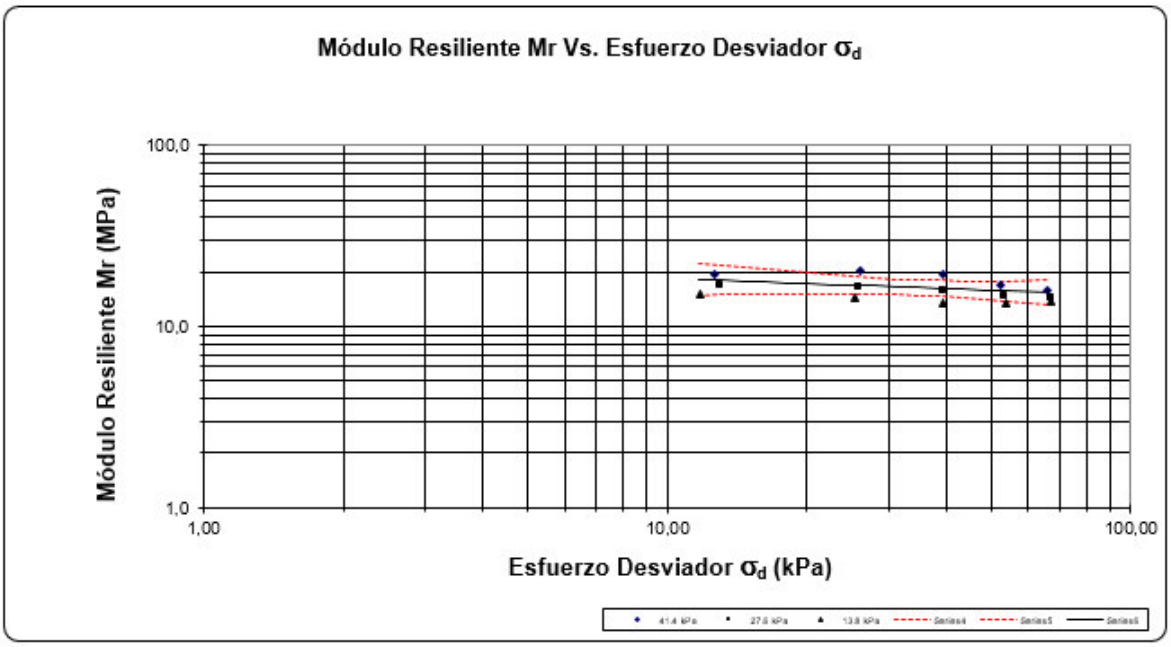


Ilustración 11. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P069-1_2

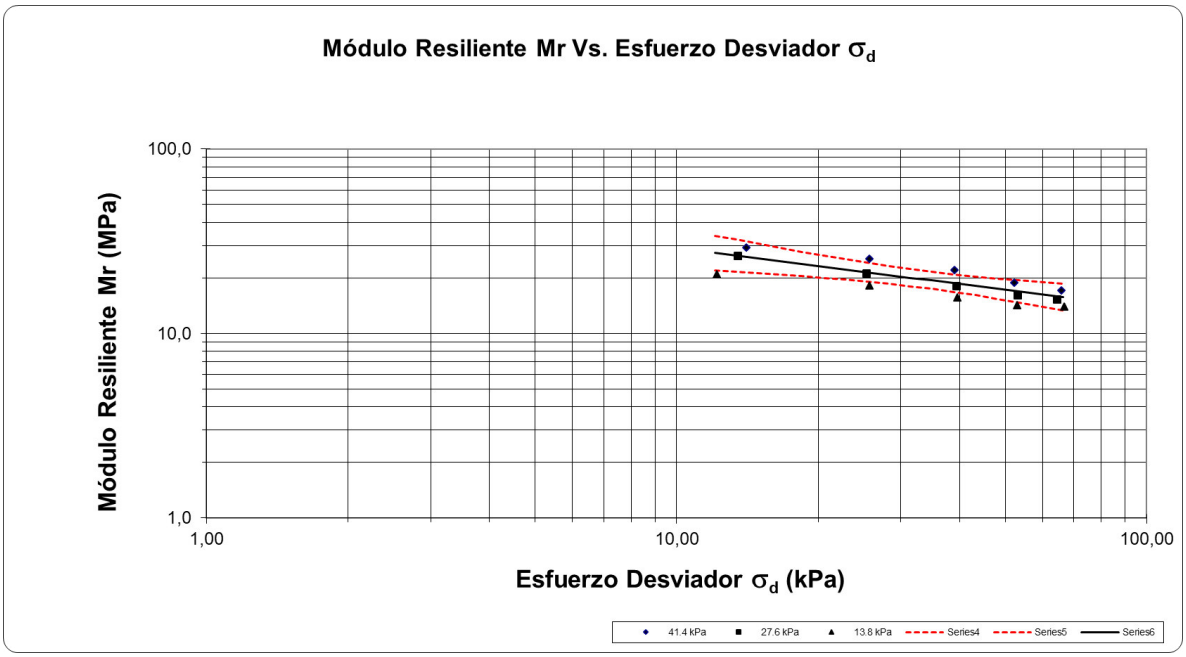


Ilustración 12. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P069-1

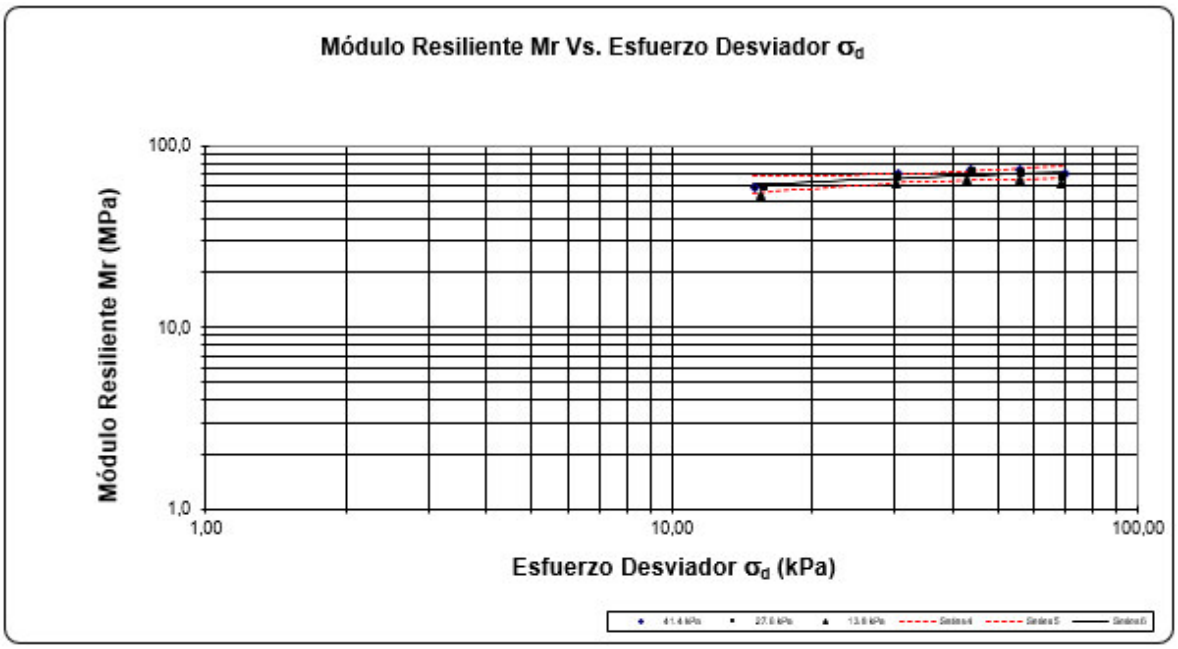


Ilustración 13. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P062-4

Los resultados de este ensayo corresponden a insumos que se requieren para la interpretación los diseños de suelo cemento, y deben ser usados una vez se finalice el proceso, los valores reportados están dentro de los rangos normales para este tipo de materiales.

- Índice de azul de metileno **(INV E 235-13)**

Tabla 65. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material Subrasante

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-235-13 Valor de azul de metileno
			Resultados Obtenidos
Subrasante	P069-2	Av Bosa	44,96
Subrasante	P062-6	Calle 116	13,26
Subrasante	P069-1-1	Av Bosa	44,97
Subrasante	P069-1-2	Av Bosa	44,9

Los valores obtenidos ubican a los materiales en la zona de actividad moderada a baja para los materiales finos, posiblemente correspondientes en su mayoría a arcillas de 1:1 aluminosilicatos tipo caolinita o halloysita, que son comunes en la zona del altiplano, es importante observar como la muestra de la 116 presenta una reducción drástica lo que permite verificar que el material le fue aplicado un mejoramiento lo que desemboco en la reducción de su actividad

- Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada) (UNE EN 12697-24).

Tabla 66. Resultados obtenidos del ensayo UNE EN 12697-24 para el material Subrasante

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- b	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- α	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- ε_6 (με)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Subrasante	P069-1	Av Bosa	-	-	-

La tabla reportada por el laboratorio no tiene resultados.

Del proceso de ejecución de las fatigas para el suelo estabilizado de la intersección de la avenida Cali con Agoberto Mejía se pueden observar varios aspectos claves para el estudio:

Del proceso de ejecución de las fatigas para el suelo de la intersección de la avenida Cali con Agoberto Mejía se puede observar que una vez constituidas las probetas al intentar realizar el montaje el nivel de cohesión alcanzado por la muestra no era el suficiente, para permitir la ejecución del ensayo debido a que las probetas se desintegraban, motivo por el cual no fue posible la ejecución de los mismos para dicha condición

Se pudo observar como para el contenido óptimo de cemento seleccionado se generan incrementos de resistencia a la tensión pueden ser superiores a 25 veces la resistencia de la condición sin estabilizar, motivo por el que el material alcanzara niveles de rigidez muy altos que lo llevan a una condición de fragilidad temprana que puede no ser beneficioso para el proceso constructivo, lo anterior ocurre debido a que por la alta rigidez alcanzada por la demanda alta de material cementante por la naturaleza fina del suelo de subrasante ensayado, genera que el suelo se vuelva extremadamente sensible a valores de esfuerzo de contacto elevado motivo por el que tránsito de vehículos pesados (volquetas con presiones de inflado alto) durante construcción debe ser limitado para evitar reducciones en la vida útil de la capa.

Lo anterior se puede observar al analizar como para el esfuerzo de 560 kPa (esfuerzo cercano a una presión de inflado de 80psi que es la empleada en volquetas y camiones) el número de repeticiones es de 1, mientras que para un esfuerzo aplicado de 380kPa el número de ciclos incrementa a 723585, lo que demuestra que las maniobras que se realicen involucrando la capa terminada para este tipo de subrasantes deben ser con equipos pequeños que apliquen presiones de contacto moderadas.

Otro aspecto seria que no se podría pensar en utilizar estas subrasantes mejoradas sin que se aplique sobre estas una capa granular de espesor tal que garantice que los esfuerzos que se trasmitan sean inferiores a 350 kPa, este valor aun no podría ser incluido como requisito en la especificación pues un solo ensayo de un tipo de suelo no resultaría suficiente, por lo que en etapas posteriores se requiere de ensayar más tipos de suelos y analizar la evolución de la vida a la fatiga en al menos 4 edades diferentes de curado 7-14-28-56 días, para poder definir unos mínimos requeridos y establecer como es la evolución debido a la microfisuración debida a los altos contenidos de cemento.

H.3.5.2 CEMENTO HIDRÁULICO

- Método para determinar la finura del cemento hidráulico por medio del aparato Blaine de permeabilidad al aire **(INV E-302-07/NTC 33).**

Tabla 67. Resultados obtenidos del ensayo NTC 33-17 para el material Cemento Hidráulico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	NTC 33-17 Superficie específica promedio de la muestra en ensayo, S (cm2/g)
			Resultados Obtenidos
Cemento hidráulico	P014-3_1	Holcim	5721
Cemento hidráulico	P014-3_2	Holcim	
Cemento hidráulico	P128-1_3	Argos	5625
Cemento hidráulico	P128-1_4	Argos	
Cemento hidráulico	P151-1_1	Holcim	5409
Cemento hidráulico	P151-1_2	Holcim	

- Método de ensayo para determinar la expansión en autoclave del cemento Hidráulico **(NTC 107-06).**

Tabla 68. Resultados obtenidos del ensayo NTC 107-06 para el material Cemento Hidráulico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	NTC 107-06 Expansión en autoclave (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según ASTM C1157
Cemento hidráulico	P014-3_1	Holcim	0,017	-	0,8	Cumple
Cemento hidráulico	P014-3_2	Holcim	0,008	-	0,8	Cumple
Cemento hidráulico	P128-1_3	Argos	0,024	-	0,8	Cumple
Cemento hidráulico	P128-1_4	Argos	0,019	-	0,8	Cumple
Cemento hidráulico	P151-1_1	Holcim	0,011	-	0,8	Cumple
Cemento hidráulico	P151-1_2	Holcim	0,007	-	0,8	Cumple

- Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico **(NTC 110).**

Tabla 69. Resultados obtenidos del ensayo NTC 110 para el material Cemento Hidráulico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	NTC 110 Relación agua/cemento (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	BoMBLED, J. P. et BARROT, H.: Essais interlaboratoires (1978/79). Comptes rendus CERILH; Paris,1979.
Cemento hidráulico	P014-3_1	Holcim	26,5	24,6	30	Cumple
Cemento hidráulico	P014-3_2	Holcim				
Cemento hidráulico	P128-1_3	Argos	27,5	24,6	30	Cumple
Cemento hidráulico	P128-1_4	Argos				
Cemento hidráulico	P151-1_1	Holcim	28,5	24,6	30	Cumple
Cemento hidráulico	P151-1_2	Holcim				

Las referencias cumplen con los valores estipulados en el documento BoMBLED, J. P. et BARROT, H: Essais interlaboratoires (1978/79). Comptes rendus CERILH; Paris,1979.

- Ensayo para determinar tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja de Vicat **(NTC 118).**

Tabla 70. Resultados obtenidos del ensayo NTC 118-07 para el material Cemento Hidráulico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	NTC 118-07 Tiempo fraguado inicial (min)				NTC 118-07 Tiempo fraguado final (min)
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según ASTM C1157	Resultados Obtenidos
Cemento hidráulico	P014-3_1	Holcim	235	45	420	Cumple	300
Cemento hidráulico	P014-3_2	Holcim					
Cemento hidráulico	P128-1_3	Argos	225	45	420	Cumple	315
Cemento hidráulico	P128-1_4	Argos					
Cemento hidráulico	P151-1_1	Holcim	162	45	420	Cumple	225
Cemento hidráulico	P151-1_2	Holcim					

- Ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico **(INV E-307-13 NTC 221)**

Tabla 71. Resultados obtenidos del ensayo NTC 221-17 para el material Cemento Hidráulico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	NTC 221-17 Peso específico del cemento (g/cm3)
			Resultados Obtenidos
Cemento hidráulico	P014-3_1	Holcim	2,87
Cemento hidráulico	P014-3_2	Holcim	
Cemento hidráulico	P128-1_3	Argos	2,84
Cemento hidráulico	P128-1_4	Argos	2,84
Cemento hidráulico	P151-1_1	Holcim	2,82
Cemento hidráulico	P151-1_2	Holcim	

.

– Determinación de tamaño de partícula por difracción laser de 0,1 a 1000 µm (por vía húmeda) (**ISO 13320:2013)**

Tabla 72. Resultados obtenidos del ensayo ISO 13320:2013 para el material Cemento Hidráulico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	ISO 13320:2013 Tamaño de partículas por difracción laser de 0,1 a 1000 µm- DX (10)	ISO 13320:2013 Tamaño de partículas por difracción laser de 0,1 a 1000 µm- DX (30)	ISO 13320:2013 Tamaño de partículas por difracción laser de 0,1 a 1000 µm- DX (50)	ISO 13320:2013 Tamaño de partículas por difracción laser de 0,1 a 1000 µm- DX (60)	ISO 13320:2013 Tamaño de partículas por difracción laser de 0,1 a 1000 µm- DX (90)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Cemento hidráulico	P014-3_1	Holcim	3,91	8,75	16,6	21,8	54
Cemento hidráulico	P014-3_2	Holcim					
Cemento hidráulico	P128-1_3	Argos	4,03	8,99	16,7	21,5	49,2
Cemento hidráulico	P128-1_4	Argos					
Cemento hidráulico	P151-1_1	Holcim	4,76	9,37	17,1	22	56,5
Cemento hidráulico	P151-1_2	Holcim					

Se han evaluado en el laboratorio 3 muestras de cemento de moderado calor de hidratación (MHC), denominado cemento puzolánico o cemento para estabilización de suelos-, con el marco regulatorio actual para la industria del cemento en Colombia, no es fácil saber la cantidad real de Clinker y de adiciones puzolánicas que tiene estos cementos, por lo que solo se han chequeado los requerimientos establecidos en la norma ASTM 595 de 2017 (Tipo IP). La norma define el cemento Portland puzolánico, como un cemento hidráulico en el cual el componente puzolánico puede ser hasta 40% en masa del cemento mezclado, razón por la cual se ha encontrado como valor promedio de peso específico 2,844 g/cm^3 con desviación de 0.021 g/cm^3, valor menor que el del cemento. Los valores de superficie específica reflejan que es un material finamente dividido, se ha obtenido como valor de finura 5585 cm^2/g con una desviación de 159,8 cm^2/g. Por otro lado, el valor promedio de expansión fue de 0,014% con desviación de 0,007%, muy por debajo de los límites que presenta la norma (0.80%). Los tiempos de fraguado también son adecuados 207 mín. en promedio para el fraguado inicial con desviación de 39.6 mín. Por lo que podemos decir que se ha encontrado que los cementos analizados, cumplen los valores establecidos para las propiedades físicas, según la ASTM 595.

H.3.5.3 CAL

- Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino (**INV E 213-13)**

Tabla 73. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para el material Cal

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	Adición a asfalto o mezclas bituminosas			
			INV E-213-13. % retenido en tamiz No 30			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx.	Según Especificación 231-18
Cal hidratada	P126-1	Corona	4,6%	-	3%	No cumple
Cal hidratada	P156-1	Aliados LTDA	30,5%	-	3%	No cumple
Cal hidratada	P126-2	Calco	0,0%	-	3%	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	Adición a asfalto o mezclas bituminosas			
			INV E-213-13. % retenido en tamiz No 200			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx.	Según Especificación 231-18
Cal hidratada	P126-1	Corona	56,1%	-	30%	No cumple
Cal hidratada	P156-1	Aliados LTDA	18,3%	-	30%	Cumple
Cal hidratada	P126-2	Calco	26,2%	-	30%	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	Estabilización de suelos			
			INV E-213-13. % retenido en tamiz No 30			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 231-18
Cal hidratada	P126-1	Corona	4,6%	-	3%	No cumple
Cal hidratada	P156-1	Aliados LTDA	30,5%	-	3%	No cumple
Cal hidratada	P126-2	Calco	0,0%	-	3%	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	Estabilización de suelos			
			INV E-213-13. % retenido en tamiz No 200			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 231-18
Cal hidratada	P126-1	Corona	56,1%	-	25%	No cumple
Cal hidratada	P156-1	Aliados LTDA	18,3%	-	25%	Cumple
Cal hidratada	P126-2	Calco	26,2%	-	25%	No cumple

Tabla 74. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13, para la muestra P126-1

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)	ESPECIFICACIÓN	
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA	Límite superior	Límite inferior
9,53	⅜	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 0,0 *	----	----
4,76	No 4	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 0,0 *	----	----
2,36	No 8	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 0,0 *	----	----
1,18	No 16	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 0,0 *	----	----
0,60	No 30	13,7	4,6	4,6	95,4 ± 1,3 *	----	----
0,30	No 50	0,0	0,0	4,6	95,4 ± 0,0 *	----	----
0,15	No 100	0,0	0,0	4,6	95,4 ± 0,0 *	----	----
0,074	No 200	168,6	56,1	60,7	39,3 ± 0,5 *	----	----
FONDO		118,0	39,3	100	---	----	----

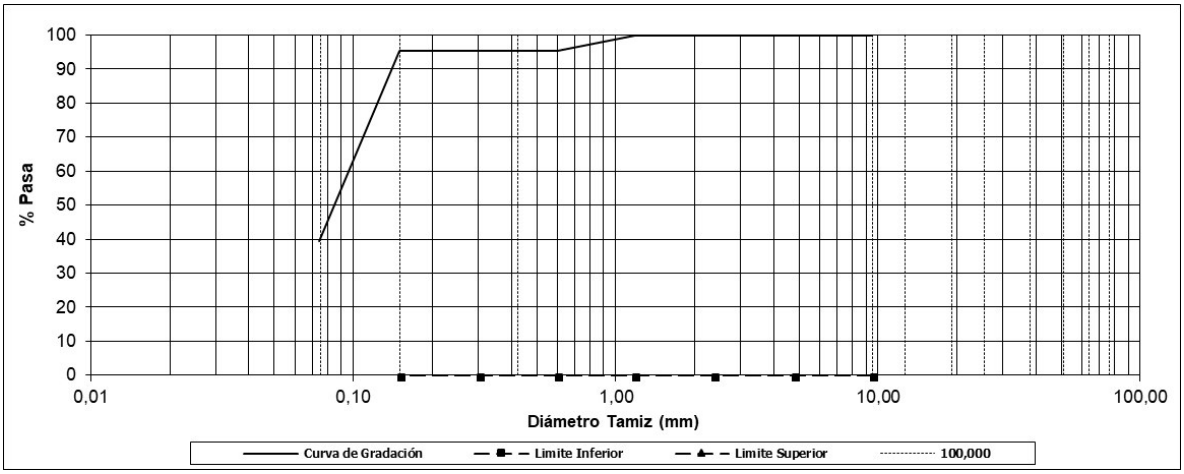


Tabla 75. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13, para la muestra P126-2

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)	ESPECIFICACIÓN	
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA	Límite superior	Límite inferior
9,53	⅜	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 0,0 *	----	----
4,76	No 4	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 0,0 *	----	----
2,36	No 8	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 0,0 *	----	----
1,18	No 16	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 0,0 *	----	----
0,60	No 30	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 1,4 *	----	----
0,30	No 50	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 0,0 *	----	----
0,15	No 100	18,0	6,0	6,0	94,0 ± 0,0 *	----	----
0,074	No 200	78,6	26,2	32,1	67,9 ± 0,9 *	----	----
FONDO		203,9	67,9	100	---	----	----

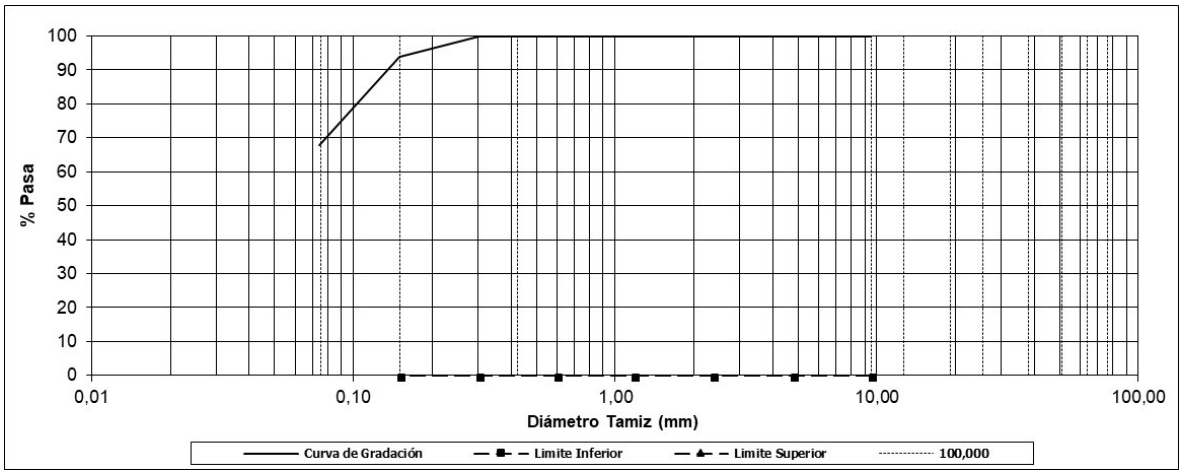
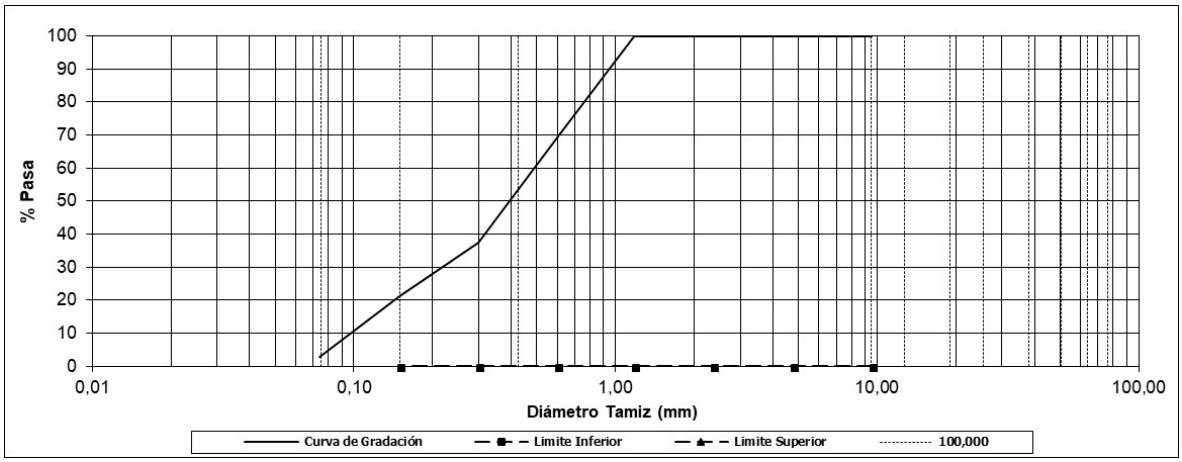


Tabla 76. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13, para la muestra P156-1

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)	ESPECIFICACIÓN	
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA	Límite superior	Límite inferior
9,53	⅜	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 0,0 *	----	----
4,76	No 4	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 0,0 *	----	----
2,36	No 8	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 0,0 *	----	----
1,18	No 16	0,8	0,3	0,3	99,7 ± 0,0 *	----	----
0,60	No 30	91,5	30,5	30,7	69,3 ± 1,0 *	----	----
0,30	No 50	95,8	31,9	62,6	37,4 ± 0,0 *	----	----
0,15	No 100	48,4	16,1	78,7	21,3 ± 0,0 *	----	----
0,074	No 200	55,1	18,3	97,1	2,9 ± 0,0 *	----	----
FONDO		8,8	2,9	100	---	----	----



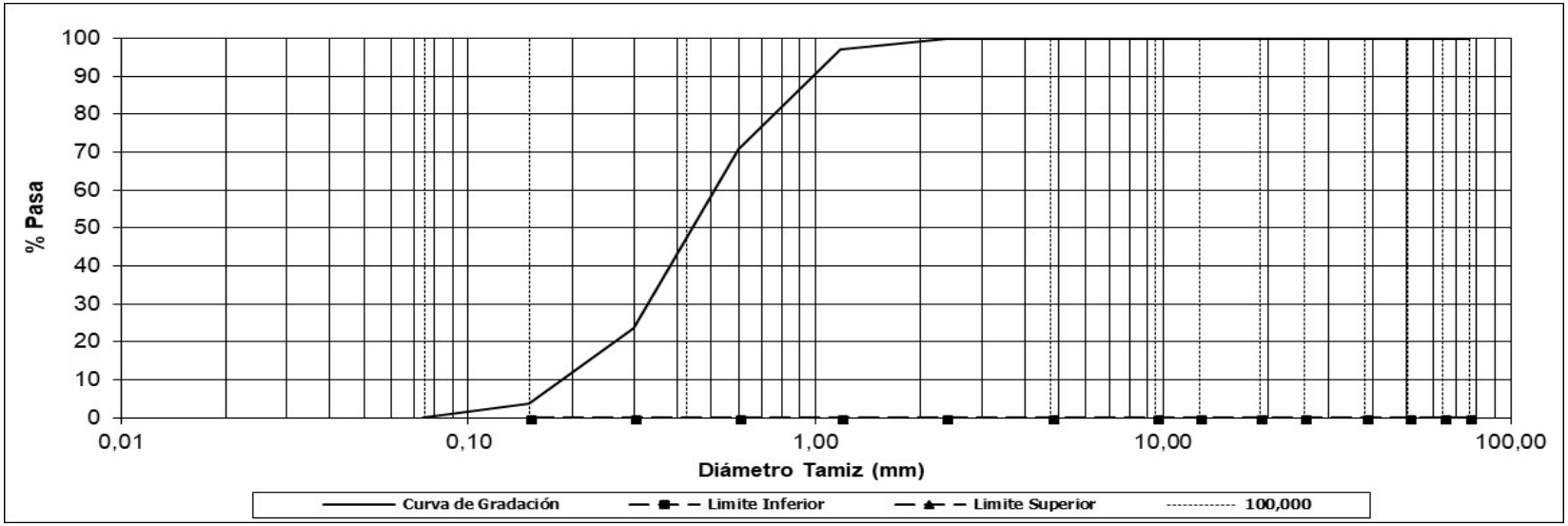
Se evaluaron tres tipos de cales verificando la condición granulométrica de estas de acuerdo con lo establecido en la especificación de cal propuesta, encontrando que solo una de las cales analizadas cumple los requisitos del tamiz 30 y tamiz 200, las otras dos presentan concentraciones en tamaños sobre el tamiz 30, lo cual reduciría su efectividad para actuar en las partículas de arcilla de forma efectiva generando la floculación.

H.3.5.4 GCR

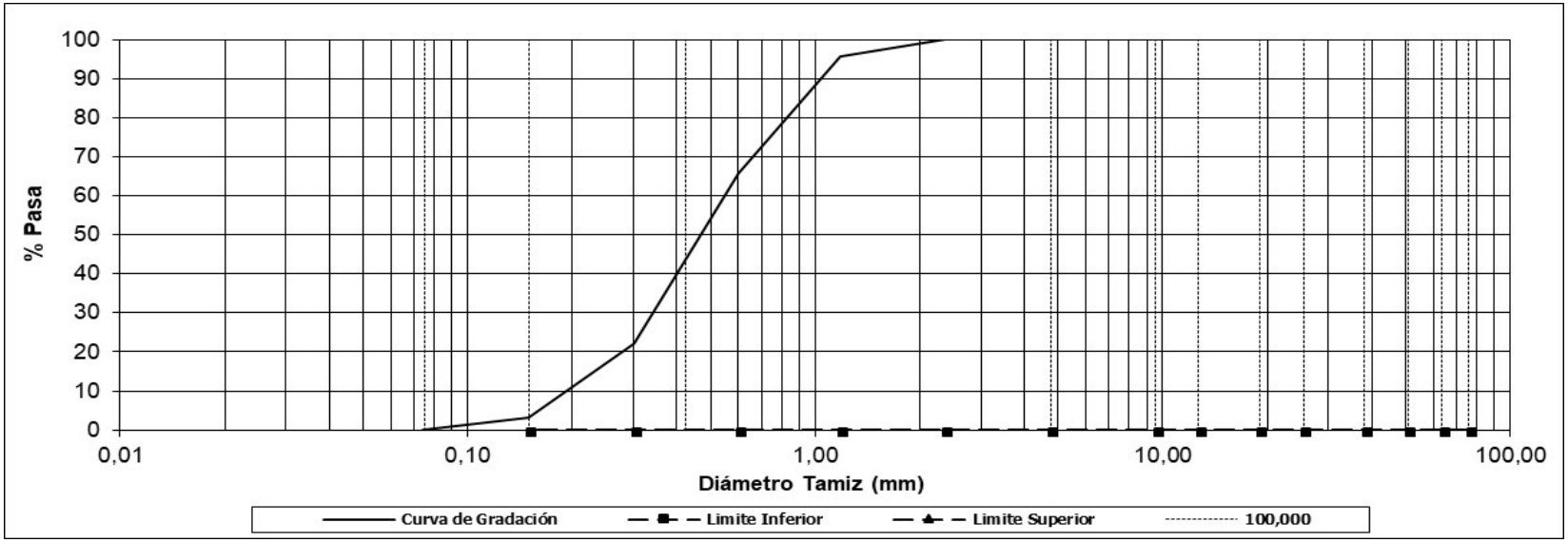
- Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino **(INV E-213-13**

Tabla 77. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para el material GCR

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-213-13 Análisis granulométrico																	
GCR	P084-7_1	CTU	**Abertura del tamiz**	(mm)	76,1	64	50,8	38,1	25,4	19	12,7	9,53	4,76	2,36	1,2	0,6	0,3	0,2	0,1	FONDO
				(pul)	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200	
			Masa retenida	(g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	13,3	132,5	235,4	100,1	17,6	0,6
			% Retenido	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	2,7	26,5	47,1	20	3,5	0,1
			Retenido acum	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	2,8	29,3	76,4	96,4	99,9	100
			% Pasa	(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,9	97,2	70,7	23,6	3,6	0,1	-
			Masa inicial seca sin lavar (g)			500														
			Masa seca final lavada (g)			500														

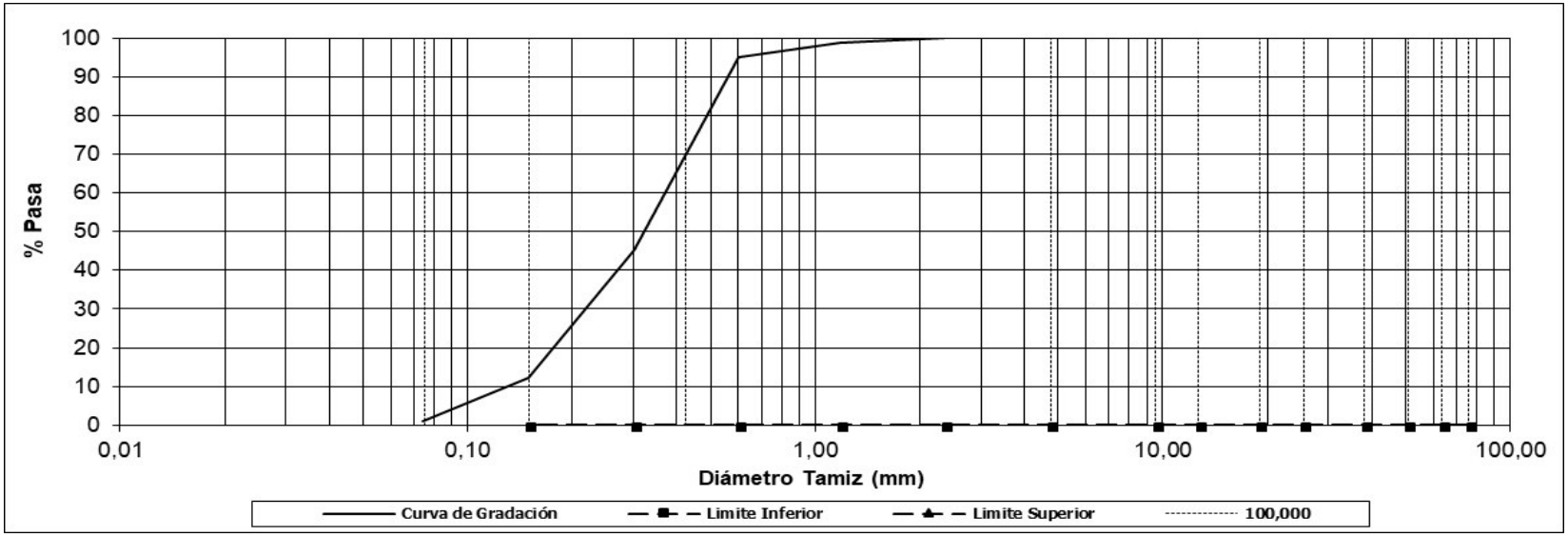


Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-213-13 Análisis granulométrico																
GCR	P084-7_2	CTU	**Abertura del tamiz**	(mm)	76,1	64	50,8	38,1	25,4	19	12,7	9,53	4,76	2,36	1,2	0,6	0,3	0,2	0,1	FONDO
				(pul)	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200	
			Masa retenida	(g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	21,8	149,4	217,9	94,9	14,6	0,8
			% Retenido	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	4,4	29,9	43,6	19	2,9	0,2
			Retenido acum	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	4,5	34,4	78	97	99,9	100
			% Pasa	(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,9	95,5	65,6	22	3	0,1	-
			Masa inicial seca sin lavar (g)			500														
			Masa seca final lavada (g)			500														

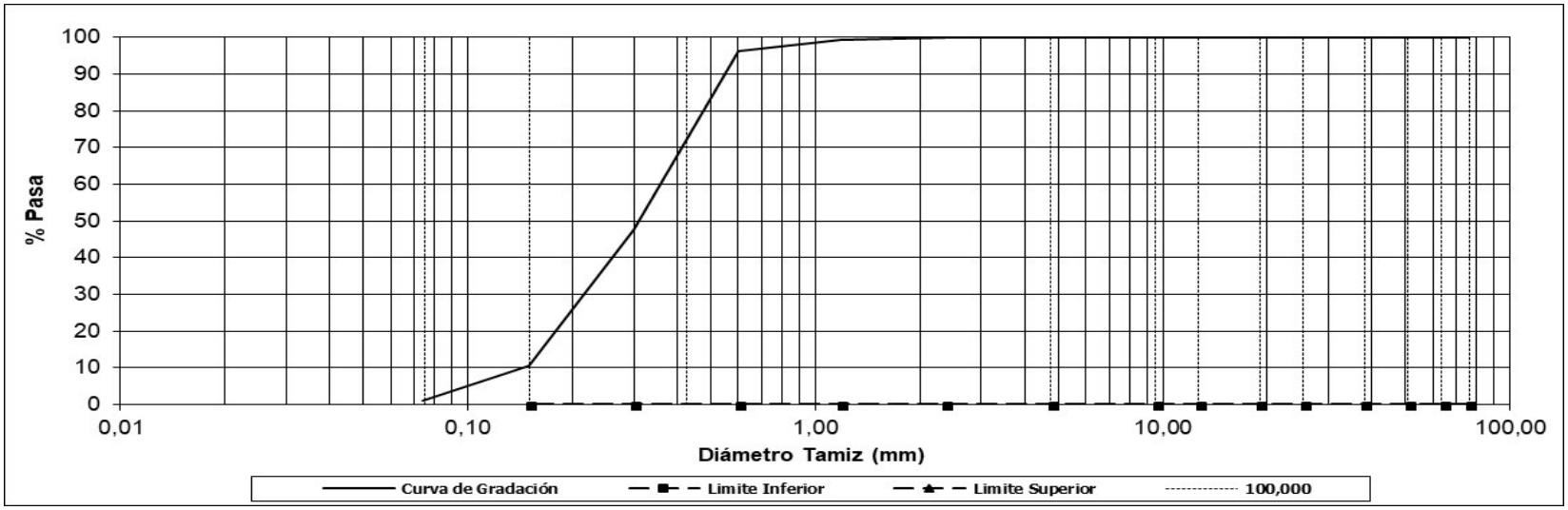


Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-213-13 Análisis granulométrico																	
GCR	Promedio P084-7_1 y P084-7_2	CTU	**Abertura del tiz**	(mm)	76,1	64	50,8	38,1	25,4	19	12,7	9,53	4,76	2,36	1,2	0,6	0,3	0,2	0,1	FONDO
				(pul)	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200	
			Masa retenida	(g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	17,55	140,95	226,65	97,5	16,1	0,7
			% Retenido	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	3,55	28,2	45,35	19,5	3,2	0,15
			Retenido acum	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	3,65	31,85	77,2	96,7	99,9	100
			% Pasa	(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,9	96,35	68,15	22,8	3,3	0,1	-
			Masa inicial seca sin lavar (g)			500														
			Masa seca final lavada (g)			500														

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-213-13 Análisis granulométrico																
GCR	P091(1)-2_1	Multinsa	**Abertura del tamiz**	(mm)	76,1	64	50,8	38,1	25,4	19	12,7	9,53	4,76	2,36	1,2	0,6	0,3	0,2	0,1	FONDO
				(pul)	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200	
			Masa retenida	(g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,3	19,5	248,5	165,5	55,6	5,6
			% Retenido	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1	3,9	49,7	33,1	11,1	1,1
			Retenido acum	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1	5	54,7	87,80	98,9	100
			% Pasa	(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98,9	65,7	45,3	12,2	1,1	-
			Masa inicial seca sin lavar (g)			500														
			Masa seca final lavada (g)			500														

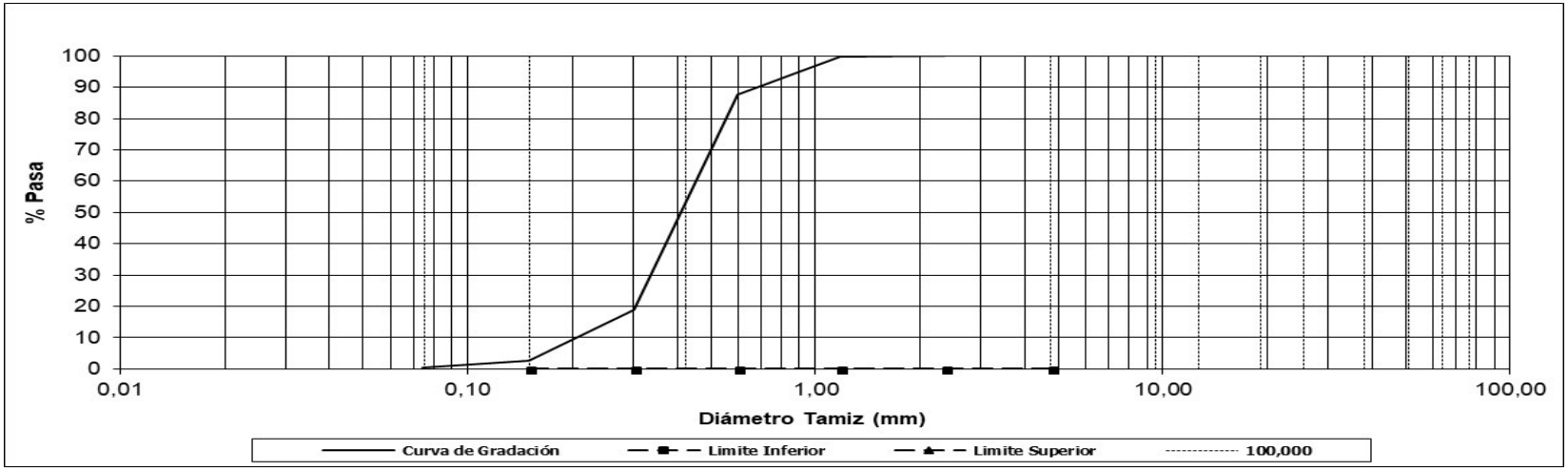


Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-213-13 Análisis granulométrico																	
GCR	P091(1)-2_2	Multinsa	**Abertura del tamiz**	(mm)	76,1	64	50,8	38,1	25,4	19	12,7	9,53	4,76	2,36	1,2	0,6	0,3	0,2	0,1	FONDO
				(pul)	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200	
			Masa retenida	(g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,8	15,7	243,1	185,4	47,8	5,3
			% Retenido	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	3,1	48,6	37,1	9,6	1,1
			Retenido acum	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	3,7	52,3	89,40	98,90	100
			% Pasa	(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,4	65,7	47,7	10,6	1,1	-
			Masa inicial seca sin lavar (g)			500														
			Masa seca final lavada (g)			500														

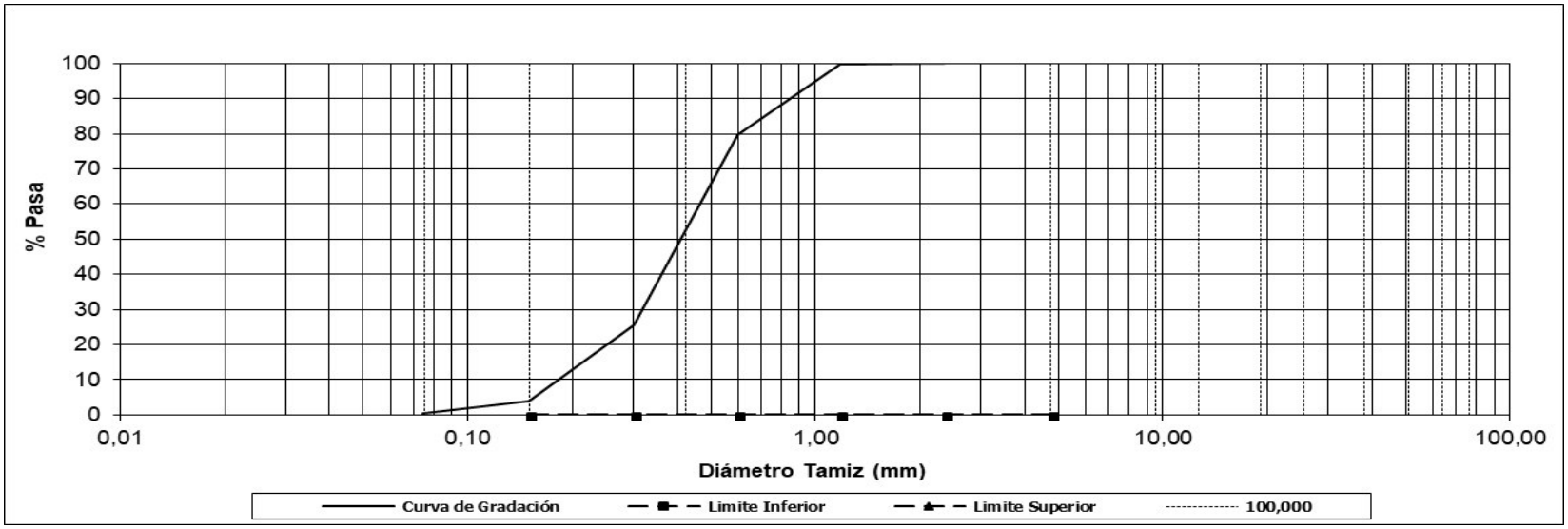


Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-213-13 Análisis granulométrico																	
GCR	Promedio P091(1)-2_1 y P091(1)-2_2	Multinsa	**Abertura del tamiz**	(mm)	76,1	64	50,8	38,1	25,4	19	12,7	9,53	4,76	2,36	1,2	0,6	0,3	0,2	0,1	FONDO
				(pul)	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200	
			Masa retenida	(g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,05	17,6	245,8	175,45	51,7	5,45
			% Retenido	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,85	3,5	49,15	35,1	10,35	1,1
			Retenido acum	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,85	4,35	53,5	88,6	98,95	100
			% Pasa	(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,15	95,65	46,5	11,4	1,05	-
			Masa inicial seca sin lavar (g)			500														
			Masa seca final lavada (g)			500														

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-213-13 Análisis granulométrico																	
GCR	P013-1_1	IB-Marketing	**Abertura del tamiz**	(mm)	76,1	64	50,8	38,1	25,4	19	12,7	9,53	4,76	2,36	1,2	0,6	0,3	0,2	0,1	FONDO
				(pul)	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200	
			Masa retenida	(g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	36,9	206	48,8	6,9	1
			% Retenido	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	12,3	68,6	16,3	2,3	0,3
			Retenido acum	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	12,5	81,1	97,4	99,7	100
			% Pasa	(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,8	87,5	18,9	2,6	0,3	-
			Masa inicial seca sin lavar (g)			300,2														
			Masa seca final lavada (g)			300,2														



Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-213-13 Análisis granulométrico																	
GCR	P013-1_2	IB-Marketing	**Abertura del tamiz**	(mm)	76,1	64	50,8	38,1	25,4	19	12,7	9,53	4,76	2,36	1,2	0,6	0,3	0,2	0,1	FONDO
				(pul)	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200	
			Masa retenida	(g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4	60,7	161,6	65,3	10,5	1,3
			% Retenido	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	20,2	53,9	21,8	3,5	0,4
			Retenido acum	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	20,4	74,3	96,1	99,6	100
			% Pasa	(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,9	99,8	79,6	25,7	3,9	0,4	-
			Masa inicial seca sin lavar (g)			300														
			Masa seca final lavada (g)			300														



Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-213-13 Análisis granulométrico																
GCR	Promedio P013-1_1 y P013-1_2	IB-Marketing	**Abertura del tiz**	(mm)	76.1	64	50.8	38.1	25.4	19	12.7	9.53	4.76	2.36	1.2	0.6	0.3	0.2	0.1	FONDO
				(pul)	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200	
			Masa retenida	(g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	48.8	183.8	57.05	8.7	1.15
			% Retenido	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.15	16.25	61.25	19.05	2.9	0.35
			Retenido acum	(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.2	16.45	77.7	96.75	99.65	100
			% Pasa	(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99.95	99.8	83.55	22.3	3.3	0.35	-
			Masa inicial seca sin lavar (g)			300.1														
			Masa seca final lavada (g)			300.1														

Todas las muestras ensayadas presentaron tamaño máximo de partícula de GCR en el tamiz No. 8, de acuerdo con lo especificado para este material.

H.3.5.5 RAJÓN

- Determinación de los tamaños de los bloques (medición en campo, rajón) (Protocolo).

Tabla 78. Resultados obtenidos del Protocolo para el material Rajón

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	Protocolo Determinación de los tamaños de los bloques (medición en campo, rajón)- Espesor (cm)	Protocolo Determinación de los tamaños de los bloques (medición en campo, rajón)- Longitud (cm)	Protocolo Determinación de los tamaños de los bloques (medición en campo, rajón)- Ancho (cm)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Piedra Rajón	P044-5	San Antonio	19,60	21,47	23,97
Piedra Rajón	P137-1_1	Tabor	11,93	36,10	31,28
Piedra Rajón	P137-1_2	Tabor	20,73	32,40	24,78
Piedra Rajón	P137-1_3	Tabor	16,23	21,97	29,67
Piedra Rajón	P137-1_4	Tabor	15,85	22,98	21,58
Piedra Rajón	P137-1 (Prom)	Tabor	16,19	28,36	26,83

Según los resultados de la verificación dimensional de los rajones realizada en el campo, se observa que dos muestras en 3 de las dimensiones medidas no cumplen con la dimensión máxima de la especificación que es de 30 cm. Sin embargo, el promedio de todas las dimensiones verificadas es de 23 cm, lo que permite concluir que la morfología de las partículas que no satisfacen tienden a ser acicoidales.

- Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles **(INV E 218-13).**

Tabla 79. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material Rajón

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E 218-13 Desgaste (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 410-18
Piedra Rajón	P044-5	San Antonio	57	-	50	No cumple
Piedra Rajón	P137-1_1	Tabor	43	-	50	Cumple
Piedra Rajón	P137-1_2	Tabor				
Piedra Rajón	P137-1_3	Tabor				

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E 218-13 Desgaste (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 410-18
Piedra Rajón	P137-1_4	Tabor				
Piedra Rajón	P137-1 (Prom)	Tabor				

De las muestras ensayadas la correspondiente a San Antonio no cumple, pero la desviación no es tan alta 7% mientras que las de Tabor si cumple, pero está cerca del límite, esto resultados validan el mantener la recomendación de la utilización de equipos livianos para la ejecución del mejoramiento para así evitar desintegración mecánica.

H.3.5.6 EMULSIONES ASFÁLTICAS

- Contenido de agua en una emulsión asfáltica (INV E-761-13)

Tabla 80. Resultados obtenidos del ensayo INV E 761-13 para el material Emulsión asfáltica

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-761-13 Contenido de agua en volumen (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 202-18
Emulsión asfáltica Tipo CRL-1	CRL-1	Incoasfaltos	41,9	-	43	Cumple
Emulsión asfáltica Tipo CRM	CRM	Incoasfaltos	36,9	-	35	No cumple
Emulsión asfáltica Tipo CRR-1	CRR-1	Incoasfaltos	36,2	-	40	Cumple

- Destilación de emulsiones asfálticas **(INV E-762-13).**

Tabla 81. Resultados obtenidos del ensayo INV E 762-13 para el material Emulsión asfáltica

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-762-13 Contenido de asfalto residual por destilación (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 202-18
Emulsión asfáltica Tipo CRL-1	CRL-1	Incoasfaltos	57,8	57	-	Cumple
Emulsión asfáltica Tipo CRM	CRM	Incoasfaltos	62,6	60	-	Cumple
Emulsión asfáltica Tipo CRR-1	CRR-1	Incoasfaltos	62,2	60	-	Cumple

- Viscosidad Saybolt Furol **(INV E-763-13).**

Tabla 82. Resultados obtenidos del ensayo INV E 763-13 para el material Emulsión asfáltica

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-763-13 Saybolt Furol a 25°C (s)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 202-18
Emulsión asfáltica Tipo CRL-1	CRL-1	Incoasfaltos	118	-	200	Cumple
Emulsión asfáltica Tipo CRM	CRM	Incoasfaltos	N.A:	-	-	-
Emulsión asfáltica Tipo CRR-1	CRR-1	Incoasfaltos	86	-	-	-

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-763-13 Saybolt Furol a 50°C (s)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 202-18
Emulsión asfáltica Tipo CRL-1	CRL-1	Incoasfaltos	37	-	-	-
Emulsión asfáltica Tipo CRM	CRM	Incoasfaltos	419	20	450	Cumple
Emulsión asfáltica Tipo CRR-1	CRR-1	Incoasfaltos	69	20	100	Cumple

- Sedimentación y estabilidad de las emulsiones asfálticas durante el almacenamiento (Prueba de Zenke) **(INV E-764-13).**

Tabla 83. Resultados obtenidos del ensayo INV E 764-13 para el material Emulsión asfáltica

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-764-13 Sedimentación a los 7 días (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 202-18
Emulsión asfáltica Tipo CRL-1	CRL-1	Incoasfaltos	3,1	-	5	Cumple
Emulsión asfáltica Tipo CRM	CRM	Incoasfaltos	3,1	-	5	Cumple
Emulsión asfáltica Tipo CRR-1	CRR-1	Incoasfaltos	1,2	-	5	Cumple

- Tamizado de las emulsiones asfálticas **(INV E-765-13).**

Tabla 84. Resultados obtenidos del ensayo INV E 765-13 para el material Emulsión asfáltica

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-765-13 Retenido en el Tamiz No 20			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 202-18
Emulsión asfáltica Tipo CRL-1	CRL-1	Incoasfaltos	0,08	-	0,1	Cumple
Emulsión asfáltica Tipo CRM	CRM	Incoasfaltos	0,22	-	0,1	No cumple
Emulsión asfáltica Tipo CRR-1	CRR-1	Incoasfaltos	0,09	-	0,1	Cumple

- Demulsibilidad de las emulsiones asfálticas **(INV E-766-13)**

Tabla 85. Resultados obtenidos del ensayo INV E 766-13 para el material Emulsión asfáltica

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-766-13 Demulsibilidad (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 202-18
Emulsión asfáltica Tipo CRL-1	CRL-1	Incoasfaltos	59,4	-	-	-
Emulsión asfáltica Tipo CRM	CRM	Incoasfaltos	48,6	-	-	-
Emulsión asfáltica Tipo CRR-1	CRR-1	Incoasfaltos	61,2	40	-	Cumple

- Identificación de las emulsiones asfálticas catiónicas mediante la determinación de la carga de las partículas **(INV E-767-13).**

Tabla 86. Resultados obtenidos del ensayo INV E 767-13 para el material Emulsión asfáltica

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-767-13 Carga partícula		
			Resultados Obtenidos	Valor	Según Especificación 202-18
Emulsión asfáltica Tipo CRL-1	CRL-1	Incoasfaltos	Positiva	Positiva	Cumple
Emulsión asfáltica Tipo CRM	CRM	Incoasfaltos	Positiva	Positiva	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-767-13 Carga partícula		
			Resultados Obtenidos	Valor	Según Especificación 202-18
Emulsión asfáltica Tipo CRR-1	CRR-1	Incoasfaltos	Positiva	Positiva	Cumple

- PH de las emulsiones asfálticas **(INV E-768-13).**

Tabla 87. Resultados obtenidos del ensayo INV E 768-13 para el material Emulsión asfáltica

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-768-13 PH			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 202-18
Emulsión asfáltica Tipo CRL-1	CRL-1	Incoasfaltos	2,5	-	6	Cumple
Emulsión asfáltica Tipo CRM	CRM	Incoasfaltos	3,4	-	6	Cumple
Emulsión asfáltica Tipo CRR-1	CRR-1	Incoasfaltos	2,8	-	6	Cumple

Se evaluaron tres emulsiones suministradas por Incoasfaltos: una de rompimiento lento CRL1, otra de rompimiento medio CRM y una de rompimiento rápido CRR-1. Las emulsiones de rompimiento, en general las emulsiones presentaron un buen desempeño ante los parámetros que fueron verificadas salvo la CRM, que no cumplió con el contenido de agua en volumen pero con una pequeña desviación, lo que podría considerarse dentro de los márgenes cercanos a los niveles de incertidumbre expandida de los procesos de muestreo y caracterización, o a una desviación durante producción asociada a los procesos de molienda o de conservación que resultó en mayores tamaños, como se observa al analizar el retenido en el tamiz 20, el cual tampoco cumplió. Sin embargo, en los demás parámetros medidos el desempeño fue adecuado, lo que permite pensar en una menor variabilidad en la calidad de las emulsiones como insumo de la observada para los cementos asfalticos.

H.3.5.7 CEMENTOS ASFÁLTICOS CONVENCIONALES DE PENETRACIÓN 60/70

- Ductilidad de los materiales asfálticos **(INV E-702-13).**

Tabla 88. Resultados obtenidos del ensayo INV E 702-13 para el material Asfalto convencional Original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-702-13 Ductilidad(cm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto Original 60/70	P047-5	Concrescol	143	50	-	Cumple
Asfalto Original 60/70	P058-5	Humberto Quintero	133	50	-	Cumple
Asfalto Original 60/70	P061-1	Incoasfaltos	100	50	-	Cumple

Las muestras ensayadas cumplen con los requerimientos de ductilidad consignados en las especificaciones, siendo menor la ductilidad de la muestra de Incoasfaltos, lo que podría indicar un mayor envejecimiento de la misma que se refleja en su mayor rigidez, sin embargo cumple y no se podría pensar en procesos de fisuración temprana a bajas temperaturas como tradicionalmente se ha entendido este ensayo, sin embrago es importante observar que la correlación de esta prueba con el desempeño ha sido discutida por no llevara a resultados concluyentes sobre todo para asfaltos convencionales, su mayor aplicabilidad se centra en la verificación de rigidez de asfaltos modificados.

- Penetración de los materiales bituminosos **(INV E 706-13)**

Tabla 89 Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto convencional Original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. Penetración (0,1 mm,T=25°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto Original 60/70	P047-5	Concrescol	59	60	-	No cumple
			59	60	-	No cumple
			59	60	-	No cumple
Asfalto Original 60/70	P058-5	Humberto Quintero	46	60	-	No cumple
			45	60	-	No cumple
			46	60	-	No cumple
Asfalto Original 60/70	P061-1	Incoasfaltos	46	60	-	No cumple
			44	60	-	No cumple
			45	60	-	No cumple

En una primera instancia, es posible observar como los asfaltos ensayados si bien su nominación fue de asfaltos de penetración 60-70 (1/10 mm), ninguno de los materiales

ensayados cumple con el rango definido para dicho material según las especificaciones IDU 2018.

Adicionalmente, las penetraciones de la segunda muestra tuvieron un rango más cercano a lo especificado en comparación con los otros dos tipos de cementos asfálticos.

Por otra parte, al comparar la media de las nueve penetraciones medidas con el valor medio del intervalo de aceptación, se obtiene una diferencia de (-23.2%.), lo que implica que estos ligantes son de mayor rigidez a los especificados, por lo que pueden sufrir procesos de fisuración temprana operando a bajas temperaturas como las que se presentan a la madrugada en la ciudad, es difícil establecer cuál es la causa de que no se satisfaga la especificación, pudiendo estar asociada a alteraciones durante la producción o refinación posiblemente asociadas con la rectificación de aire o la oxidación.

Si se analizan estadísticos como la desviación estándar y los intervalos de confianza, se puede observar que la variabilidad entre los resultados realizados no es tan alta, esto también se comprueba con el valor negativo de la Curtósis, lo que permite pensar que debido a la uniformidad en el comportamiento que el problema está definitivamente asociado a problemas sistemáticos durante la producción del ligante.

Tabla 90. Estadística Descriptiva de la Variable medida (mm) para penetración asfalto original

Estadística Descriptiva de la Variable medida (mm)			
Media			49,94
Error típico			0,94
Mediana			48,50
Moda			46,00
Desviación estándar			5,65
Varianza de la muestra			31,94
Curtosis			-0,96
Coeficiente de asimetría			0,76
Rango			17,00
Mínimo			43,00
Máximo			60,00
Suma			1798,00
Cuenta			36,00
Nivel de Confianza (95%)			1,91
Confiabilidad	64%	95%	99.5%
Desviaciones Estándar	1	2	3
Intervalo Superior	55,60	61,25	66,90
Intervalo Inferior	44,29	38,64	32,99

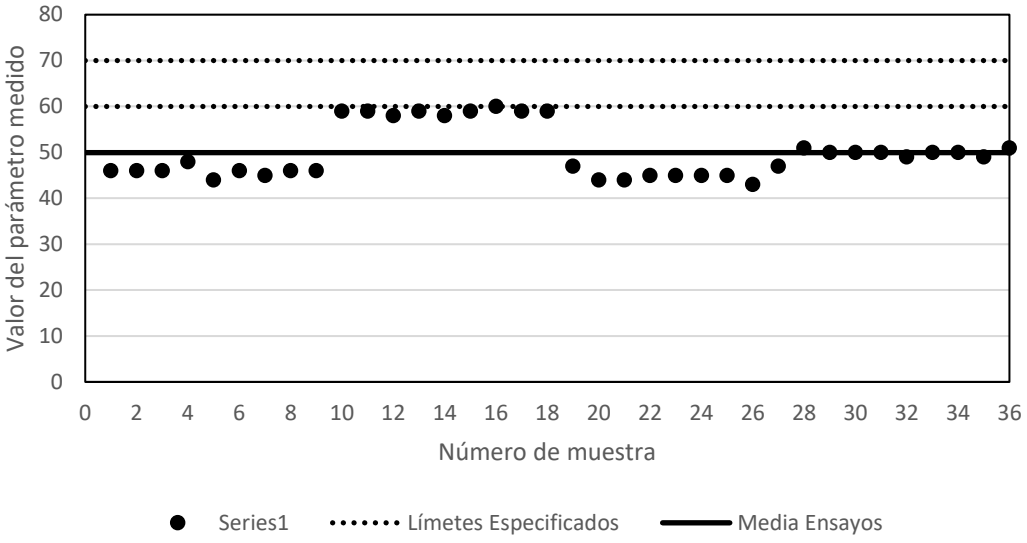


Ilustración 14. Comparación de los resultados del parámetro medido respecto a los valores especificados (mm) para penetración asfalto original

Los anteriores resultados, son una muestra de las debilidades que presenta el sistema de calificación de asfaltos basado en penetración, motivo por el cual se remplazó por el sistema basado en viscosidades desde los años sesenta en muchos países, buscando así una mayor representatividad de las condiciones de operación de las capas de pavimento y después a los sistemas de desempeño para evaluar las condiciones durante producción, colocación y durante su operación. Ahora bien, actualmente la especificación del IDU presenta una mezcla de requerimientos de los tres sistemas de calificación, denominando los asfaltos por penetraciones, pero requiriendo pruebas del sistema de viscosidad y otras del desempeño, razón por la cual no resulta fácil la clasificación y/o calificación correcta de los ligantes.

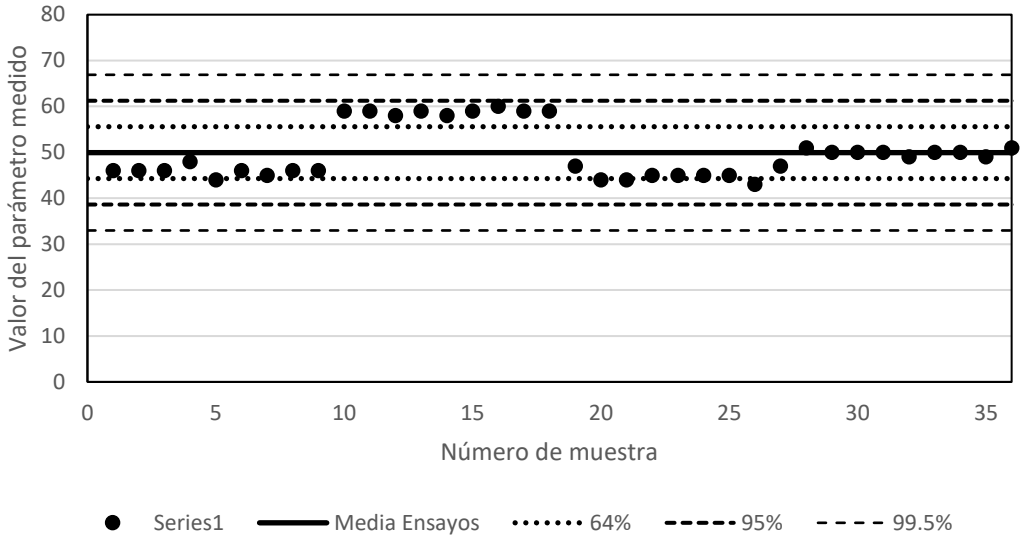


Ilustración 15. Comparación de los resultados del parámetro medido respecto a los intervalos de confianza (mm) para penetración asfalto original

Tabla 91. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto convencional envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. Penetración (0,1 mm,T=25°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P047-5	Concrescol	22	31,9	-	No cumple
			22	31,9	-	No cumple
			22	31,9	-	No cumple
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P058-5	Humberto Quintero	18	24,8	-	No cumple
			18	24,3	-	No cumple
			18	24,8	-	No cumple
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P061-1	Incoasfaltos	20	24,8	-	No cumple
			20	23,8	-	No cumple
			20	24,3	-	No cumple

En una primera instancia, es posible observar que los residuos de los asfaltos ensayados si bien su nominación fue de asfaltos de penetración 60-70, ninguno de los materiales ensayados cumple con el mínimo definido en las especificaciones IDU 2011. Adicionalmente, al comparar la media de las penetraciones medidas para los materiales que incumplieron con el valor mínimo de aceptación de las especificaciones, se obtiene una diferencia de (- 35.8%), lo implica que estos ligantes son más susceptibles a cambios

durante su envejecimiento que los especificados, por lo tanto, pueden sufrir alteraciones importantes durante los procesos de mezclado.

La variabilidad entre los resultados que no cumplieron, es un poco mayor que en las variaciones observadas para el asfalto convencional en estado sin envejecer, lo que se comprueba al comparar los resultados con los intervalos de confianza y el valor positivo de la Curtósis, La mayor variabilidad podría estar asociada a alteraciones que se produjeron durante el proceso de envejecimiento de los materiales.
Por otra parte, es importante comentar que el análisis de diferencias de varianza entre muestras mediante pruebas de hipótesis, no es posible de realizar lo que no permite realizar comparaciones entre materiales y analizar errores en procesos de muestreo y/o ensayo.

Tabla 92. Estadística Descriptiva de la Variable medida (1/10 mm) para penetración al residuo

Estadística Descriptiva de la Variable medida (1/10 mm)			
Media			29,78
Error típico			4,89
Mediana			22,00
Moda			22,00
Desviación estándar			20,73
Varianza de la muestra			429,59
Curtosis			1,98
Coeficiente de asimetría			1,93
Rango			58,00
Mínimo			17,00
Máximo			75,00
Suma			536,00
Cuenta			18,00
Nivel de Confianza (95%)			10,31
Confiabilidad	64%	95%	99.5%
Desviaciones Estándar	1	2	3
Intervalo Superior	50,50	71,23	91,96
Intervalo Inferior	9,05	-11,68	-32,40

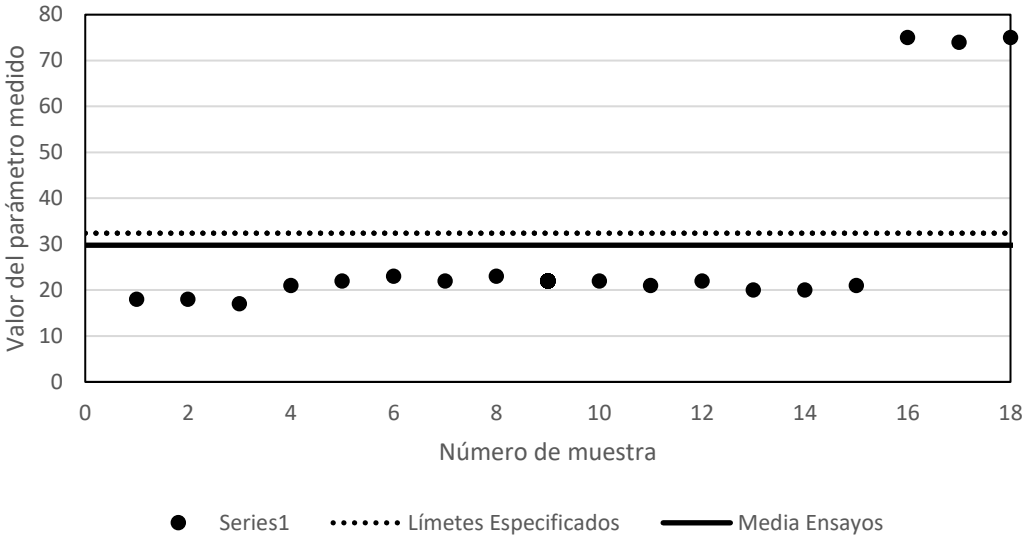


Ilustración 16. Comparación de los resultados del parámetro medido respecto a los valores especificados (1/10 mm) para penetración al residuo

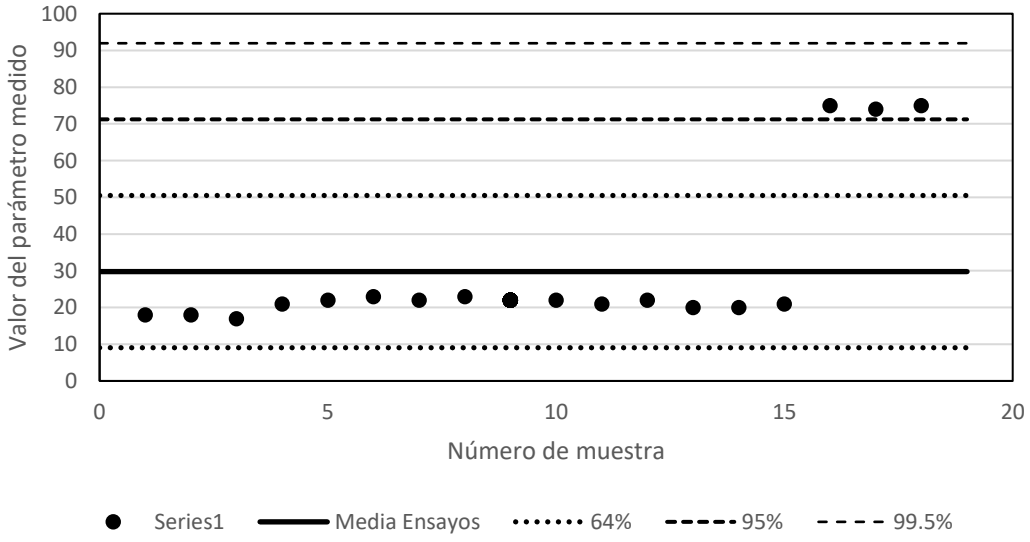


Ilustración 17. Comparación de los resultados del parámetro medido respecto a los intervalos de confianza (1/10 mm) para penetración al residuo

Tabla 93. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto convencional envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. Penetración (0,1 mm,T=25°C)
			Resultados Obtenidos
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P047-5	Concrescol	11
			11
			11
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P058-5	Humberto Quintero	16
			16
			16
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P061-1	Incoasfaltos	11
			11
			11

Para el envejecimiento por PAV no hay requerimientos de la penetración, pues no existe valor para comparar ni especificación con la que se compare.

Tabla 94. Estadística Descriptiva de la Variable medida para penetración asfalto envejecido por PAV

Estadística Descriptiva de la Variable medida (° C)			
Media			51,40
Error típico			0,32
Mediana			51,50
Moda			51,10
Desviación estándar			0,91
Varianza de la muestra			0,84
Curtosis			-1,52
Coeficiente de asimetría			-0,44
Rango			2,30
Mínimo			50,10
Máximo			52,40
Suma			411,20
Cuenta			8,00
Nivel de Confianza (95%)			0,76
Confiabilidad	64%	95%	99.5%
Desviaciones Estándar	1	2	3
Intervalo Superior	52,31	53,23	54,14
Intervalo Inferior	50,49	49,57	48,66

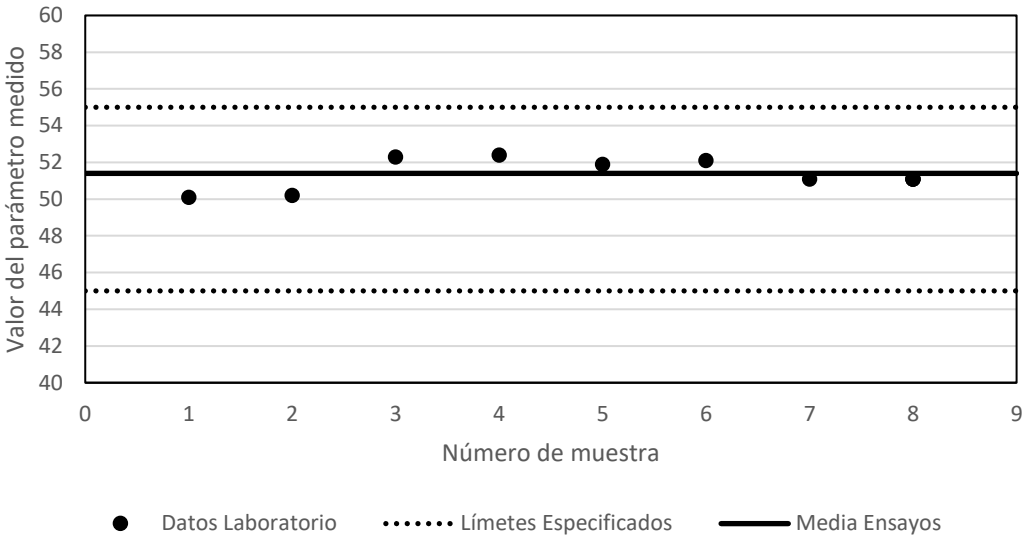


Ilustración 18. Comparación de los resultados del parámetro medido respecto a los valores especificados (mm) para penetración asfalto envejecido por PAV

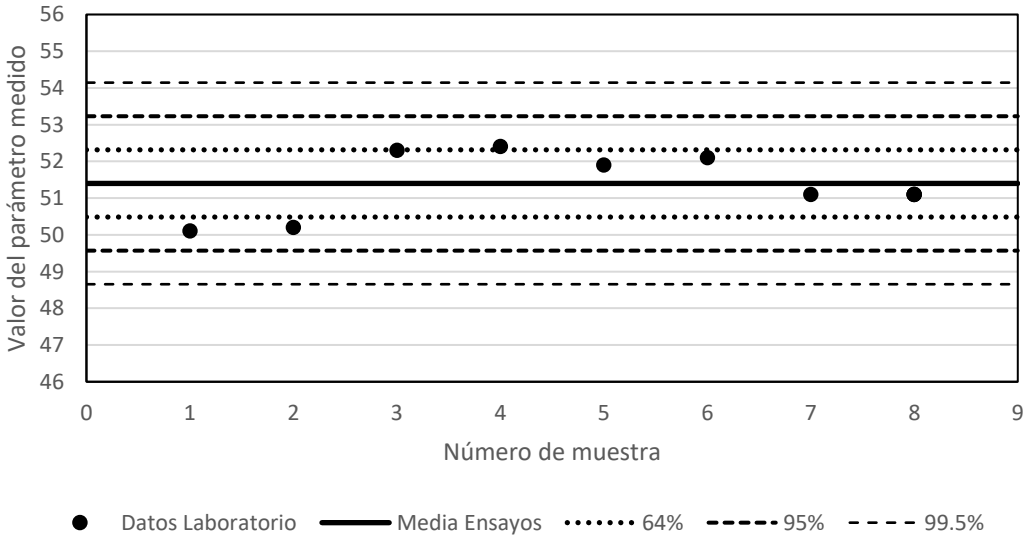


Ilustración 19. Comparación de los resultados del parámetro medido respecto a los intervalos de confianza (mm) para penetración asfalto envejecido por PAV

- Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro) **(INV E-707-13).**

Tabla 95. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto convencional original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. Densidad(g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto Original 60/70	P047-5	Concrescol	1,021
Asfalto Original 60/70	P058-5	Humberto Quintero	1,022
Asfalto Original 60/70	P061-1	Incoasfaltos	1,026

Tabla 96. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto convencional envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. Densidad(g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P047-5	Concrescol	1,029
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P058-5	Humberto Quintero	1,025
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P061-1	Incoasfaltos	1,029

Tabla 97. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto convencional envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. Densidad(g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P047-5	Concrescol	1,034
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P058-5	Humberto Quintero	0,962
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P061-1	Incoasfaltos	1,029

Las densidades obtenidas entre los diferentes productores no presentan una variabilidad alta, lo que permite evidenciar una uniformidad del material y que no ha sido afectado por ningún tipo de modificación.

- Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) (**INV E 712-17).**

Tabla 98. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto convencional original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. Punto de ablandamiento (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto Original 60/70	P047-5	Concrescol	50,1	46	54	Cumple
			50,2	46	54	Cumple
			50,2	46	54	Cumple
Asfalto Original 60/70	P058-5	Humberto Quintero	52,3	46	54	Cumple
			52,4	46	54	Cumple
			52,4	46	54	Cumple
Asfalto Original 60/70	P061-1	Incoasfaltos	51,9	46	54	Cumple
			52,1	46	54	Cumple
			52,0	46	54	Cumple

Tabla 99. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto convencional envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. Punto de ablandamiento (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P047-5	Concrescol	59,9	-	63	Cumple
			60,3	-	63	Cumple
			60,0	-	63	Cumple
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P058-5	Humberto Quintero	61,2	-	63	Cumple
			61,3	-	63	Cumple
			61,2	-	63	Cumple
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P061-1	Incoasfaltos	61,1	-	63	Cumple
			61,3	-	63	Cumple
			61,2	-	63	Cumple

Tabla 100. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto convencional envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. Punto de ablandamiento (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P047-5	Concrescol	77,9	-	63	No cumple
			78	-	63	No cumple
			78	-	63	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. Punto de ablandamiento (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P058-5	Humberto Quintero	73	-	63	No cumple
			73,5	-	63	No cumple
			73,2	-	63	No cumple
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P061-1	Incoasfaltos	78,8	-	63	No cumple
			78,9	-	63	No cumple
			78,8	-	63	No cumple

- Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional **(INV E 717-13)**

Tabla 101. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto convencional

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto Original 60/70	P047-5	Concrescol	467	140	240	No cumple
			467	140	240	No cumple
			403	140	240	No cumple
Asfalto Original 60/70	P058-5	Humberto Quintero	603	140	240	No cumple
			601	140	240	No cumple
			596	140	240	No cumple
Asfalto Original 60/70	P061-1	Incoasfaltos	798	140	240	No cumple
			802	140	240	No cumple
			800	140	240	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto Original 60/70	P047-5	Concrescol	0,315	0,21	-	Cumple
			0,301	0,21	-	Cumple
			0,297	0,21	-	Cumple
Asfalto Original 60/70	P058-5	Humberto Quintero	0,300	0,21	-	Cumple
			0,293	0,21	-	Cumple
			0,293	0,21	-	Cumple
Asfalto Original 60/70	P061-1	Incoasfaltos	0,306	0,21	-	Cumple
			0,306	0,21	-	Cumple
			0,306	0,21	-	Cumple

Tabla 102. Estadística Descriptiva de la Variable medida (cp) Determinación de la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional 135 °C asfalto convencional 60-70

Estadística Descriptiva de la Variable medida (cp)			
Media	323,25		
Error típico	11,29		
Mediana	306,00		
Moda	306,00		
Desviación estándar	39,12		
Varianza de la muestra	1530,57		
Curtosis	-0,43		
Coeficiente de asimetría	1,23		
Rango	95,00		
Mínimo	293,00		
Máximo	388,00		
Suma	3879,00		
Cuenta	12,00		
Nivel de Confianza (95%)	24,86		
Confiabilidad	64%	95%	99.5%
Desviaciones Estándar	1	2	3
Intervalo Superior	362,37	401,49	440,62
Intervalo Inferior	284,13	245,01	205,88

Luego de obtenidos los resultados de los ensayos de viscosímetro rotacional para los diferentes materiales, se pueden comentar los siguientes aspectos:

Las viscosidades que se miden a altas temperaturas (135°C), en donde es usual la aplicación del viscosímetro rotacional, se observa que todas las muestras satisfacen los requerimientos de la especificación IDU 2018 como se observa en la Ilustración 20. La variabilidad observada esta en márgenes razonables, lo que permite pensar en un buen desempeño del material durante los procesos de mezcla.

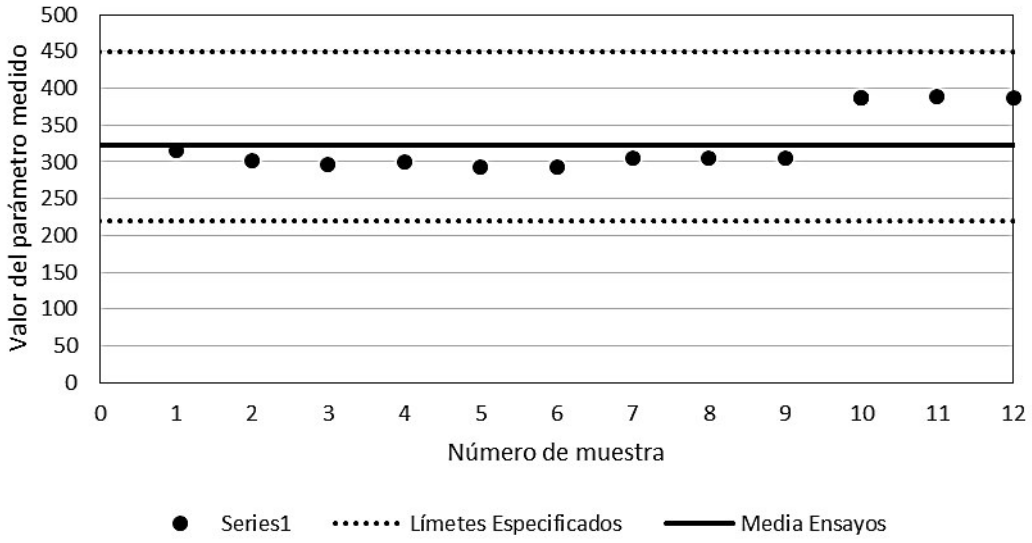


Ilustración 20. Análisis estadísticos viscosidad 135°C

Para el caso de bajas temperaturas (60°C), los datos que arroja el viscosímetro rotacional no son concluyentes, solo para uno de los ensayos fue posibles obtener datos en ese rango de temperatura, lo anterior se debe en gran parte a que el viscosímetro rotacional se utiliza generalmente para altas temperaturas, y en dicho rango de temperaturas las especificaciones, basadas en penetración y/o viscosidad, reportan la viscosidad absoluta que se determina mediante viscosímetro capilar INV–E 716, lo cual es igualmente requerido para realizar la relación viscosidad a 60ºC del residuo / viscosidad a 60ºC del asfalto original, de acuerdo con la especificación IDU 2018.

Tabla 103. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto convencional envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P047-5	Concrescol	-	150	300	No cumple
			-	150	300	No cumple
			-	150	300	No cumple
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P058-5	Humberto Quintero	-	150	300	No cumple
			-	150	300	No cumple
			-	150	300	No cumple
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P061-1	Incoasfaltos	-	150	300	No cumple
			-	150	300	No cumple
			-	150	300	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P047-5	Concrescol	1,360	0,21	-	Cumple
			1,280	0,21	-	Cumple
			1,200	0,21	-	Cumple
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P058-5	Humberto Quintero	0,593	0,21	-	Cumple
			0,593	0,21	-	Cumple
			0,596	0,21	-	Cumple
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P061-1	Incoasfaltos	0,636	0,21	-	Cumple
			0,635	0,21	-	Cumple
			0,635	0,21	-	Cumple

Tabla 104. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto convencional envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P047-5	Concrescol	-	150	300	No cumple
			-	150	300	No cumple
			-	150	300	No cumple
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P058-5	Humberto Quintero	-	150	300	No cumple
			-	150	300	No cumple
			-	150	300	No cumple
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P061-1	Incoasfaltos	-	150	300	No cumple
			-	150	300	No cumple
			-	150	300	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P047-5	Concrescol	0,678	0,21	-	Cumple
			0,629	0,21	-	Cumple
			0,620	0,21	-	Cumple
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P058-5	Humberto Quintero	0,799	0,21	-	Cumple
			0,784	0,21	-	Cumple
			0,772	0,21	-	Cumple
	P061-1	Incoasfaltos	0,868	0,21	-	Cumple
			0,866	0,21	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto envejecido en PAV 60/70			0,866	0,21	-	Cumple

- Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (G*, d) **(INV E 750-13)**

Tabla 105. Resultados obtenidos del ensayo INV E-750-13 para el material Asfalto convencional original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Original 60/70	P047-5	Concrescol	64	1,285
Asfalto Original 60/70	P058-5	Humberto Quintero	64	1,557
Asfalto Original 60/70	P061-1	Incoasfaltos	64	1,604

Tabla 106 Resultados obtenidos del ensayo INV E-750-13 para el material Asfalto convencional envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P047-5	Concrescol	70	2,213
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P058-5	Humberto Quintero	70	2,68
Asfalto envejecido en RTFO 60/70	P061-1	Incoasfaltos	70	3,407

Tabla 107 Resultados obtenidos del ensayo INV E-750-13 para el material Asfalto convencional envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P047-5	Concrescol	22	3833,2
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P058-5	Humberto Quintero	19	4561,8
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P061-1	Incoasfaltos	22	3658,3

- Método de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos utilizando una cámara de envejecimiento a presión (PAV) **(INV E 751-13)**

Tabla 108 Resultados obtenidos del ensayo INV E-751-13 para el material Asfalto convencional envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E 751-13 Tiempo total de envejecimiento (h:min)
			Resultados Obtenidos
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P047-5	Concrescol	20:18
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P058-5	Humberto Quintero	20:18
Asfalto envejecido en PAV 60/70	P061-1	Incoasfaltos	20:18

H.3.5.8 CEMENTOS DE ASFALTICOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS

H.3.5.8.1 Asfalto Modificado tipo II

- Ductilidad de los materiales asfálticos (**INV E-702-13**)

Tabla 109. Resultados obtenidos del ensayo INV E 702-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-702-13 Ductilidad(cm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
Asfalto Tipo II	P058-2	Humberto Quintero	33	15	-	Cumple
Asfalto tipo II B	P061-2	Incoasfaltos	71	15	-	Cumple
Asfalto Tipo II B	P078-1	MPI	112	15	-	Cumple

- Penetración de los materiales bituminosos (**INV E-706-13)**

Tabla 110. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. Penetración (0,1 mm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
Asfalto Tipo II	P058-2	Humberto Quintero	40	55	70	No cumple
			41	55	70	No cumple
			41	55	70	No cumple
Asfalto tipo II B	P061-2	Incoasfaltos	39	55	70	No cumple
			39	55	70	No cumple
			39	55	70	No cumple
Asfalto Tipo II B	P078-1	MPI	56	55	70	Cumple
			57	55	70	Cumple
			55	55	70	Cumple

Tabla 111. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. Penetración (0,1 mm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
Asfalto Tipo II envejecido en RTFO	P058-2	Humberto Quintero	20	26,0	-	No cumple
			20	26,7	-	No cumple
			20	26,7	-	No cumple
	P061-2	Incoasfaltos	21	25,4	-	No cumple
			21	25,4	-	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. Penetración (0,1 mm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
Asfalto Tipo II B envejecido en RTFO			21	25,4	-	No cumple
Asfalto Tipo II B envejecido en RTFO	P078-1	MPI	30	36,4	-	No cumple
			30	37,1	-	No cumple
			30	35,8	-	No cumple

Tabla 112. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. Penetración (0,1 mm)
			Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo II envejecido en PAV	P058-2	Humberto Quintero	12
			12
			12
Asfalto tipo II B envejecido en PAV	P061-2	Incoasfaltos	18
			18
			18
Asfalto Tipo II B envejecido en PAV	P078-1	MPI	12
			12
			12

Al analizar las penetraciones para las tres muestras ensayadas las muestras de Humberto Quintero e Incoasfaltos no cumplen con lo requerido en la especificación, presentado una rigidez mayor, mientras que la muestra de MPI si cumple.

La situación es similar al observar cuando se analiza el asfalto envejecido, pero en este caso las tres muestras no cumplen con a la penetración. Lo anterior hace pensar que la rigidizacion puede indicar un proceso de envejecimiento acelerado, relacionada con la temperatura, pero a este nivel no es posible identificar claramente la causa o si pudiera estar asociada a la naturaleza del polímero usado.

- Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro) **(INV E 707-13)**

Tabla 113. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo II	P058-2	Humberto Quintero	1,026
Asfalto tipo II B	P061-2	Incoasfaltos	1,021
Asfalto Tipo II B	P078-1	MPI	1,009

Tabla 114. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo II envejecido en RTFO	P058-2	Humberto Quintero	1,031
Asfalto Tipo II B envejecido en RTFO	P061-2	Incoasfaltos	1,024
Asfalto Tipo II B envejecido en RTFO	P078-1	MPI	1,009

Tabla 115. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo II envejecido en PAV	P058-2	Humberto Quintero	1,034
Asfalto tipo II B envejecido en PAV	P061-2	Incoasfaltos	1,027
Asfalto Tipo II B envejecido en PAV	P078-1	MPI	0,998

Al revisar las densidades obtenidas entre los diferentes productores no presentan una variabilidad alta, lo que permite evidenciar una uniformidad del material y que no se presentan variaciones que hagan pensar en inestabilidades del polímero. Teniendo en cuenta que por cuando se someten a envejecimiento los cambios no son significativos.

- Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) **(INV E 712-17)**

Tabla 116. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
Asfalto Tipo II	P058-2	Humberto Quintero	61,7	58	-	Cumple
			61,8	58	-	Cumple
			61,8	58	-	Cumple
Asfalto tipo II B	P061-2	Incoasfaltos	80,8	58	-	Cumple
			81,9	58	-	Cumple
			81,4	58	-	Cumple
Asfalto Tipo II B	P078-1	MPI	69,5	58	-	Cumple
			69,7	58	-	Cumple
			69,6	58	-	Cumple

Tabla 117. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
Asfalto Tipo II envejecido en RTFO	P058-2	Humberto Quintero	72,1	58	-	Cumple
			72,2	58	-	Cumple
			72,2	58	-	Cumple
Asfalto Tipo II B envejecido en RTFO	P061-2	Incoasfaltos	88,4	58	-	Cumple
			88,6	58	-	Cumple
			88,6	58	-	Cumple
Asfalto Tipo II B envejecido en RTFO	P078-1	MPI	75,4	58	-	Cumple
			78,1	58	-	Cumple
			76,8	58	-	Cumple

Tabla 118. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
Asfalto Tipo II envejecido en PAV	P058-2	Humberto Quintero	85,3	58	-	Cumple
			85,5	58	-	Cumple
			85,4	58	-	Cumple
Asfalto tipo II B envejecido en PAV	P061-2	Incoasfaltos	96,8	58	-	Cumple
			97,1	58	-	Cumple
			97	58	-	Cumple
Asfalto Tipo II B envejecido en PAV	P078-1	MPI	84,2	58	-	Cumple
			84,4	58	-	Cumple
			84,4	58	-	Cumple

Se puede observar que todas las muestras cumplen con el mínimo establecido por la especificación vigente IDU 2018.

- Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional **(INV E 717-13)**

Tabla 119. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 211-18
Asfalto Tipo II	P058-2	Humberto Quintero	-	0,744	0,3	4,4	Cumple
			-	0,710	0,3	4,4	Cumple
			-	0,704	0,3	4,4	Cumple
Asfalto tipo II B	P061-2	Incoasfaltos	-	2,305	0,3	4,4	Cumple
			-	2,284	0,3	4,4	Cumple
			-	2,272	0,3	4,4	Cumple
Asfalto Tipo II B	P078-1	MPI	-	0,955	0,3	4,4	Cumple
			-	0,938	0,3	4,4	Cumple
			-	0,924	0,3	4,4	Cumple

Tabla 120. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo II envejecido en RTFO	P058-2	Humberto Quintero	-	1,692
			-	1,666
			-	1,684
Asfalto Tipo II B envejecido en RTFO	P061-2	Incoasfaltos	-	5,613
			-	5,525
			-	5,463
Asfalto Tipo II B envejecido en RTFO	P078-1	MPI	-	1,241
			-	1,241
			-	1,241

Tabla 121. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo II envejecido en PAV	P058-2	Humberto Quintero	-	2,73
			-	2,72
			-	2,71
Asfalto tipo II B envejecido en PAV	P061-2	Incoasfaltos	-	10,40
			-	10,38
			-	10,36
Asfalto Tipo II B envejecido en PAV	P078-1	MPI	-	3,48
			-	3,45
			-	0,00

Para el a Asfalto modificado original todas las muestras cumplen con el rango establecido por la especificación IDU 2018.

- Método de ensayo para medir la recuperación elástica de materiales asfálticos utilizando el ductilómetro **(INV E 742-13).**

Tabla 122. Resultados obtenidos del ensayo INV E 742-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-742-13. Recuperación (%)
			Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo II	P058-2	Humberto Quintero	65
Asfalto tipo II B	P061-2	Incoasfaltos	90
Asfalto Tipo II B	P078-1	MPI	90

Se puede observar que todas las muestras cumplen con el mínimo establecido por la especificación IDU 2018.

- Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (G*, d) **(INV E-750-13)**

Tabla 123. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo II	P058-2	Humberto Quintero	76	1,148
Asfalto tipo II B	P061-2	Incoasfaltos	64	1,604
Asfalto Tipo II B	P078-1	MPI	70	1,718

Tabla 124, Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo II envejecido en RTFO	P058-2	Humberto	82	2,635
Asfalto Tipo II B envejecido en RTFO	P061-2	Incoasfaltos	70	3,334

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo II B envejecido en RTFO	P078-1	MPI	70	4,032

Tabla 125. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo II envejecido en PAV	P058-2	Humberto Quintero	19	4419,7
Asfalto tipo II B envejecido en PAV	P061-2	Incoasfaltos	22	3658,3
Asfalto Tipo II B envejecido en PAV	P078-1	MPI	16	4668,1

Se observa como las muestras superan el valor de 1kpa establecido para G*/sen δ considerado típico para asfaltos en condisión original y los 2.2 kPa para la condición envejecida. De acuerdo con lo que se viene trabajando a nivel internacional en las diferentes normativas.

- Método de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos utilizando una cámara de envejecimiento a presión (PAV) **(INV E 751-13)**

Tabla 126. Resultados obtenidos del ensayo INV E 751-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E 751-13 Tiempo total de envejecimiento (h:min)
			Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo II envejecido en PAV	P058-2	Humberto Quintero	20:15

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E 751-13 Tiempo total de envejecimiento (h:min)
			Resultados Obtenidos
Asfalto tipo II B envejecido en PAV	P061-2	Incoasfaltos	20:16
Asfalto Tipo II B envejecido en PAV	P078-1	MPI	20:14

H.3.5.8.2 Asfalto Modificado tipo V

- Ductilidad de los materiales asfálticos (**INV E-702-13**)

Tabla 127. Resultados obtenidos del ensayo INV E 702-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-702-13 Ductilidad(cm)	
			Resultados Obtenidos	Valor min
Asfalto Tipo V	P058-3	Humberto Quintero	30	15
Asfalto Tipo V	P085-1	Incoasfaltos	12	15
Asfalto Tipo V	P086-1	MPI	44	15

- Penetración de los materiales bituminosos (**INV E-706-13**)

Tabla 128. Re Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. Penetración (0,1 mm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
Asfalto Tipo V	P058-3	Humberto Quintero	35	15	40	Cumple
			35	15	40	Cumple
			35	15	40	Cumple
Asfalto Tipo V	P085-1	Incoasfaltos	33	15	40	Cumple
			34	15	40	Cumple
			34	15	40	Cumple
Asfalto Tipo V	P086-1	MPI	15	15	40	Cumple
			15	15	40	Cumple
			17	15	40	Cumple

Tabla 129. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. Penetración (0,1 mm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P058-3	Humberto Quintero	27	24,5	-	Cumple
			27	24,5	-	Cumple
			27	24,5	-	Cumple
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P085-1	Incoasfaltos	30	23,1	-	Cumple
			30	23,8	-	Cumple
			30	23,8	-	Cumple
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P086-1	MPI	15	10,5	-	Cumple
			15	10,5	-	Cumple
			15	11,9	-	Cumple

Los valores obetenidos permiten inferir un buen comportamiento del ligante ante procesos de envejecimiento debido a la carga termica, todas las muestras ensayadas cumplen los requerimientos de reducción de penetración requeridos.

Tabla 130. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. Penetración (0,1 mm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P058-3	Humberto Quintero	24	24,5	-	No cumple
			24	24,5	-	No cumple
			24	24,5	-	No cumple
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P085-1	Incoasfaltos	16	23,1	-	No cumple
			16	23,8	-	No cumple
			16	23,8	-	No cumple
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P086-1	MPI	6	10,5	-	No cumple
			6	10,5	-	No cumple
			6	11,9	-	No cumple

Para el material envejecido por PAV no hay requerimientos de la penetración, pues no existe valor para comparar ni especificación con la que se compare.

Se presenta un resumen de las penetraciones individuales realizadas para las muestras. En una primera instancia, es posible observar que todos los asfaltos ensayados, cumplen

con el rango definido para dicho material en las especificaciones IDU 2018. Adicionalmente, al comparar la media de las penetraciones medidas con el valor medio del intervalo de aceptación de la especificación, se obtiene una diferencia de (-2.9%), lo que implica que estos ligantes cumplen para la penetración actualmente especificada. Por otra parte, la variabilidad entre los resultados realizados es alta, lo que se comprueba al comparar los resultados del coeficiente de variación (33%), los intervalos de confianza y el valor negativo de la Curtósis, esta variación se puede asociar con las alteraciones que se producen durante el proceso modificación. Además, el análisis de diferencias de varianza entre muestras mediante pruebas de hipótesis, no son posible de realizar lo que no permite realizar comparaciones entre materiales y analizar errores en procesos de muestreo y/o ensayo

- Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro) **(INV E 707-13).**

Tabla 131. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo V	P058-3	Humberto Quintero	1,018
Asfalto Tipo V	P085-1	Incoasfaltos	1,024
Asfalto Tipo V	P086-1	MPI	1,021

Tabla 132. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P058-3	Humberto Quintero	1,007
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P085-1	Incoasfaltos	N.A.
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P086-1	MPI	1,024

Tabla 133. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P058-3	Humberto Quintero	N.A.

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P085-1	Incoasfaltos	N.A.
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P086-1	MPI	1,028

Las densidades obtenidas entre los diferentes productores no presentan una variabilidad alta, lo que permite evidenciar una uniformidad del material y que no se presentan variaciones que hagan pensar en inestabilidades del polímero. Teniendo en cuenta que por cuando se someten a envejecimiento los cambios no son significativos

- Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) **(INV E 712-13)**

Tabla 134 Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
Asfalto Tipo V	P058-3	Humberto Quintero	77,5	65	-	Cumple
			77,8	65	-	Cumple
			77,6	65	-	Cumple
Asfalto Tipo V	P085-1	Incoasfaltos	78,3	65	-	Cumple
			78,4	65	-	Cumple
			78,4	65	-	Cumple
Asfalto Tipo V	P086-1	MPI	76,6	65	-	Cumple
			77,4	65	-	Cumple
			77,0	65	-	Cumple

Tabla 135. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
	P058-3	Humberto Quintero	86,9	65	-	Cumple
			87,2	65	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO			87,0	65	-	Cumple
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P085-1	Incoasfaltos	88,6	65	-	Cumple
			89,0	65	-	Cumple
			88,8	65	-	Cumple
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P086-1	MPI	83,0	65	-	Cumple
			85,4	65	-	Cumple
			84,2	65	-	Cumple

Tabla 136. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 201-18
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P058-3	Humberto Quintero	94,8	65	-	Cumple
			96,2	65	-	Cumple
			95,6	65	-	Cumple
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P085-1	Incoasfaltos	110,2	65	-	Cumple
			111,8	65	-	Cumple
			111,0	65	-	Cumple
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P086-1	MPI	102,0	65	-	Cumple
			104,0	65	-	Cumple
			103,0	65	-	Cumple

Se puede observar que todas las muestras cumplen con el mínimo establecido por la especificación DU 2018.

- Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional **(INV E 717-13)**

Tabla 137. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto/Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo V	P058-3	Humberto Quintero	-	4,40
			-	4,05
			-	3,75
Asfalto Tipo V	P085-1	Incoasfaltos	-	3,82
			-	3,81
			-	3,81
Asfalto Tipo V	P086-1	MPI	-	0,31
			-	0,30
			-	0,30

Tabla 138. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P058-3	Humberto Quintero	-	0,55
			-	0,54
			-	0,53
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P085-1	Incoasfaltos	-	4,97
			-	4,88
			-	4,78
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P086-1	MPI	-	7,52
			-	7,38
			-	7,26

Tabla 139. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P058-3	Humberto Quintero	-	2,60
			-	2,54
			-	2,54

Material	Muestra	Proyecto/Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P085-1	Incoasfaltos	-	90,64
			-	88,64
			-	87,18
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P086-1	MPI	-	31,17
			-	30,37
			-	29,80

Para el Asfalto modificado original todas las las muestras cumplen con el rango establecido por la especificación IDU 2018.

- Método de ensayo para medir la recuperación elástica de materiales asfálticos utilizando el ductilómetro **(INV E 742-13).**

Tabla 140. Resultados obtenidos del ensayo INV E 742-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto/Proveedor	INV E-742-13. Recuperación (%)
			Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo V	P058-3	Humberto Quintero	63
Asfalto Tipo V	P085-1	Incoasfaltos	78
Asfalto Tipo V	P086-1	MPI	68

Se puede observar que todas las muestras cumplen con el mínimo establecido por la especificación IDU 2018.

- Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (G*, d) **(INV E 750-13).**

Tabla 141. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado original

Material	Muestra	Proyecto Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo V	P058-3	Humberto Quintero	82	1,435
Asfalto Tipo V	P085-1	Incoasfaltos	94	1,187
Asfalto Tipo V	P086-1	MPI	94	1,199

Tabla 142. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P058-3	Humberto Quintero	70	2,428
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P085-1	Incoasfaltos	94	3,956
Asfalto Tipo V envejecido en RTFO	P086-1	MPI	94	2,787

Tabla 143. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P058-3	Humberto	19	4164,0
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P085-1	Incoasfaltos	13	4684,8
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P086-1	MPI	25	4458,2

Se observa como las muestras superan el valor de 1kpa establecido para G*/sen δ considerado típico para asfaltos en condisión original y los 2.2 kPa para la condición envejecida. De acuerdo con lo que se viene trabajando a nivel internacional en las diferentes normativas.

- Método de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos utilizando una cámara de envejecimiento a presión (PAV) **(INV E 751-13)**

Tabla 144. Resultados obtenidos del ensayo INV E 751-13 para el material Asfalto modificado envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E 751-13 Tiempo total de envejecimiento (h:min)
			Resultados Obtenidos
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P058-3	Humberto Quintero	20:18
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P085-1	Incoasfaltos	20:15
Asfalto Tipo V envejecido en PAV	P086-1	MPI	20:16

H.3.5.9 CEMENTOS ASFÁLTICOS DE PENETRACIÓN 40/50

- Ductilidad de los materiales asfálticos (**INV E-702-13**)

Tabla 145. Resultados obtenidos del ensayo INV E 702-13 para el material Asfalto 40/50 original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-702-13 Ductilidad(cm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto 40/50	P058-4	Humberto Quintero	34	40	-	No cumple
Asfalto 40/50	P066-1	MPI	100	40	-	Cumple
Asfalto 40/50	P135-3	Incoasfaltos	13	40	-	No cumple

Dos de las tres muestras ensayadas no cumplen con los requerimientos de ductilidad consignados en las especificaciones, siendo menor la ductilidad de la muestra de Incoasfaltos, nuevamente similar a lo que ocurrió con el asfalto 60/70, sin embargo en este caso la reducción es significativa lo que podría indicar un mayor envejecimiento de la misma, que pudo darse por problemas de manipulación durante la producción lo que se refleja en su alta rigidez, lo que podría generar procesos de fisuración temprana en condiciones de operación a bajas temperaturas de acuerdo con la interpretación que tradicionalmente se le ha dado a este ensayo, sin embrago es importante observar que la correlación de esta prueba con el desempeño ha sido discutida por no llevara a resultados

concluyentes sobre todo para asfaltos convencionales, su mayor aplicabilidad se centra en la verificación de rigidez de asfaltos modificados.

- Penetración asfalto Original (**INV E-706-13)**

Tabla 146. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto 40/50 original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. (0,1 mm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto 40/50	P058-4	Humberto Quintero	42	50	-	No cumple
			45	50	-	No cumple
			45	50	-	No cumple
Asfalto 40/50	P066-1	MPI	32	50	-	No cumple
			32	50	-	No cumple
			31	50	-	No cumple
Asfalto 40/50	P135-3	Incoasfaltos	51	50	-	Cumple
			49	50	-	No cumple
			50	50	-	Cumple

Similar a lo que se observó en la muestra de asfalto 60/70 las muestras ensayadas exhiben una rigidez alta, sin embargo, para este tipo de ligante solo 4 de las 9 muestras ensayadas no cumplieron lo que equivaldría a un 44% de las muestras ensayadas. Sin embargo, la media dio de 42 (1/10 mm), lo que implica que estos ligantes tiende a ser de mayor rigidez, por los materiales pueden sufrir procesos de fisuración temprana operando a bajas temperaturas como las que se presentan a la madrugada en la ciudad, es difícil establecer cuál es la causa de que no se satisfaga la especificación, pudiendo estar asociada a alteraciones durante la producción o refinación posiblemente asociadas con la rectificación de aire o la oxidación.

- Penetración de los materiales bituminosos envejecidos (**INV E-706-13)**

Tabla 147. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. (0,1 mm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P058-4	Humberto Quintero	15	26,4	-	No cumple
			15	26,1	-	No cumple
			15	26,1	-	No cumple
	P066-1	MPI	18	18,6	-	No cumple
			18	18,6	-	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. (0,1 mm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO			18	18,0	-	Cumple
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P135-3	Incoasfaltos	34	29,6	-	Cumple
			34	28,4	-	Cumple
			34	29,0	-	Cumple

Al revisar todos los resultados de los asfaltos envejecidos, todas las muestras de Incosafaltos y una de MPI satisfacen la especificación IDU respecto al % mínimo de la penetración. Las restantes muestras no lo cumpen, lo que permite pensar en una rigidización excesiva y envejecimiento prematuro de estos ligantes durante la construcción.

Tabla 148**.** Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. (0,1 mm)
			Resultados Obtenidos
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P058-4	Humberto Quintero	12
			12
			12
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P066-1	MPI	7
			7
			7
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P135-3	Incoasfaltos	13
			13
			13

Para el envejecimiento por PAV no hay requerimientos de la penetración, pues no existe valor para comparar ni especificación con la que se compare.

- Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro) **(INV E-707-13)**

Tabla 149. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto 40/50 original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto 40/50	P058-4	Humberto Quintero	1,027
Asfalto 40/50	P066-1	MPI	1,029

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto 40/50	P135-3	Incoasfaltos	1,028

Tabla 150. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P058-4	Humberto Quintero	1,026
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P066-1	MPI	1,025
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P135-3	Incoasfaltos	1,028

Tabla 151. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P058-4	Humberto Quintero	1,025
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P066-1	MPI	0,984
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P135-3	Incoasfaltos	1,022

Las densidades obtenidas entre los diferentes productores no presentan una variabilidad alta, lo que permite evidenciar una uniformidad del material y que no ha sido afectado por ningún tipo de modificación.

- Punto de ablandamiento (Aparato de anillo y bola) del cemento asfáltico original **(INV E-712-13)**

Tabla 152. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto 40/50 original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto 40/50	P058-4	Humberto Quintero	55,2	50	58	Cumple
			55,7	50	58	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
			55,4	50	58	Cumple
Asfalto 40/50	P066-1	MPI	54,0	50	58	Cumple
			54,1	50	58	Cumple
			54,0	50	58	Cumple
Asfalto 40/50	P135-3	Incoasfaltos	66,7	50	58	No cumple
			66,8	50	58	No cumple
			66,8	50	58	No cumple

Al revisar los resultados de las muestras de MPI y Humberto Quintero satisfacen la especificación IDU, ahora bien, la muestra de Incoasfaltos no cumple, se excede lo que coincidiría con los resultados de penetración mostrando que este ligante sería muy susceptible térmicamente y podría generar problemas de reblandecimiento y deformaciones plásticas.

Tabla 153. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P058-4	Humberto Quintero	67,1	-	67	No cumple
			67,2	-	67	No cumple
			67,2	-	67	No cumple
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P066-1	MPI	59,2	-	67	Cumple
			59,5	-	67	Cumple
			59,4	-	67	Cumple
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P135-3	Incoasfaltos	82,6	-	67	No cumple
			83,5	-	67	No cumple
			83	-	67	No cumple

Al revisar los resultados para asfalto residual las muestras de MPI son las únicas que satisfacen los incrementos de la especificación IDU, mientras que las de Humberto Quintero e Incoasfaltos no cumplen, esto supondria que estos ligantes presentarán una variabilidad en su comportamiento debido al calentamiento y manipulación en planta, por lo que se requerirá de un control detallado de los mismos durante las diferentes fases de su utilización.

Tabla 154. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P058-4	Humberto Quintero	79,4	-	67	No cumple
			80,0	-	67	No cumple
			79,8	-	67	No cumple
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P066-1	MPI	75,6	-	67	No cumple
			75,8	-	67	No cumple
			75,6	-	67	No cumple
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P135-3	Incoasfaltos	116,9	-	67	No cumple
			116,9	-	67	No cumple
			117,0	-	67	No cumple

Al revisar los resultados ninguna de las muestras satisface la especificación IDU, ahora bien, esto muestra que estos ligantes presentarán una variabilidad en su comportamiento debido al calentamiento y manipulación en planta, por lo que se requerirá de un control detallado de los mismos durante las diferentes fases de su utilización.

- Determinación de la viscosidad del asfalto empleando viscosímetro rotacional **(INV E-717-13)**

Tabla 155. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto 40/50 original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto 40/50	P058-4	Humberto Quintero	-	0,400	0,25	-	Cumple
			-	0,364	0,25	-	Cumple
			-	0,364	0,25	-	Cumple
Asfalto 40/50	P066-1	MPI	-	0,526	0,25	-	Cumple
			-	0,559	0,25	-	Cumple
			-	0,559	0,25	-	Cumple
Asfalto 40/50	P135-3	Incoasfaltos	-	1,316	0,25	-	Cumple
			-	1,316	0,25	-	Cumple
			-	1,321	0,25	-	Cumple

Tabla 156. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P058-4	Humberto Quintero	-	1,077	0,27	0,65	No cumple
			-	1,054	0,27	0,65	No cumple
			-	1,037	0,27	0,65	No cumple
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P066-1	MPI	-	0,606	0,27	0,65	Cumple
			-	0,605	0,27	0,65	Cumple
			-	0,605	0,27	0,65	Cumple
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P135-3	Incoasfaltos	-	6,871	0,27	0,65	No cumple
			-	6,857	0,27	0,65	No cumple
			-	6,857	0,27	0,65	No cumple

Tabla 157. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 200-18
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P058-4	Humberto Quintero	-	1,718	0,27	0,65	No cumple
			-	1,660	0,27	0,65	No cumple
			-	1,620	0,27	0,65	No cumple
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P066-1	MPI	-	1,785	0,27	0,65	No cumple
			-	1,774	0,27	0,65	No cumple
			-	1,765	0,27	0,65	No cumple
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P135-3	Incoasfaltos	-	193,000	0,27	0,65	No cumple
			-	180,000	0,27	0,65	No cumple
			-	172,000	0,27	0,65	No cumple

Los resultados del ensayo a 135°C, el rango revela que las muestras de MPI y Humberto Quintero satisfacen la especificación IDU, ahora bien, la muestra de Incoasfaltos no cumple presentado una viscosidad por encima de los rangos lo que explica la variabilidad observada en los demás ensayos es una muestra que tiene rigidez excesiva a estas temperaturas y podría presentar problemas de stripping.

- Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (G*, d) **(INV E 750-13).**

Tabla 158. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto 40/50 original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto 40/50	P058-4	Humberto Quintero	70	1,18
Asfalto 40/50	P066-1	MPI	64	2,02
Asfalto 40/50	P135-3	Incoasfaltos	82	1,42

Tabla 159. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P058-4	Humberto Quintero	76	2,976
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P066-1	MPI	64	4,025
Asfalto 40/50 Envejecido en RTFO	P135-3	Incoasfaltos	94	2,905

Tabla 160. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P058-4	Humberto Quintero	19	4708,7
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P066-1	MPI	25	4917,0
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P135-3	Incoasfaltos	13	4649,6

Se observa como las muestras superan el valor de 1kpa establecido para G*/sen δ considerado típico para asfaltos en condisión original y los 2.2 kPa para la condición envejecida. De acuerdo con lo que se viene trabajando a nivel internacional en las diferentes normativas.

- Método de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos utilizando una cámara de envejecimiento a presión (PAV) **(INV E 751-13).**

Tabla 161. Resultados obtenidos del ensayo INV E 751-13 para el material Asfalto 40/50 envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E 751-13 Tiempo total de envejecimiento (h:min)
			Resultados Obtenidos
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P058-4	Humberto Quintero	20:13
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P066-1	MPI	20:12
Asfalto 40/50 Envejecido en PAV	P135-3	Incoasfaltos	20:15

H.3.5.10 CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON GCR

- Ductilidad de los materiales asfálticos **(INV E-702-13)**

Tabla 162. Resultados obtenidos del ensayo INV E 702-13 para el material Asfalto modificado con GCR original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-702-13. Ductilidad (cm)
			Resultados Obtenidos
GCR Tipo I	P058-1	Humberto Quintero	13
Cemento Asfáltico Modificado	P091-1	Multinsa	29
Asfalto modificado con GCR	P135-4	Incoasfaltos	12

- Penetración de los materiales bituminosos (**INV E-706-13**)

Tabla 163. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado con GCR original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. Penetración (0,1 mm)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 625-18
GCR Tipo I	P058-1	Humberto Quintero	53	40	70	Cumple
			53	40	70	Cumple
			54	40	70	Cumple
Cemento Asfáltico Modificado	P091-1	Multinsa	35	40	70	No cumple
			33	40	70	No cumple
			33	40	70	No cumple
Asfalto modificado con GCR	P135-4	Incoasfaltos	56	40	70	Cumple
			55	40	70	Cumple
			56	40	70	Cumple

Al observar los resultados del material envejecido por RTFO de las muestras, se observa un desempeño dentro de los rangos especificados para asfalto cauchos. Solo una de las muestras evaluadas (Multinsa) cumple, mientras que las otras presentan una rigidización mayor que las elimina del intervalo aceptable, lo que podría ser por problemas de la realización de un adecuado control de temperatura durante la fabricación, aunque no es posible definirlo con estos ensayos, esta rigidización puede inducir a procesos de fisuración temprana.

Tabla 164. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. Penetración (0,1 mm)
			Resultados Obtenidos
GCR Tipo I Envejecido en RTFO	P058-1	Humberto Quintero	30
			30
			30
Cemento Asfáltico Modificado en RTFO	P091-1	Multinsa	28
			-
			-
Asfalto modificado con GCR en RTFO	P135-4	Incoasfaltos	24
			--
			--

Para los resultados del asfalto envejecido por PAV, no hay requerimientos de la penetración, pues no existe valor para comparar ni especificación con la que se compare.

Tabla 165. Resultados obtenidos del ensayo INV E 706-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-706-13. Penetración (0,1 mm)
			Resultados Obtenidos
GCR Tipo I Envejecido en PAV	P058-1	Humberto Quintero	20
			20
			20
Cemento Asfáltico Modificado en PAV	P091-1	Multinsa	6
			-
			-
Asfalto modificado con GCR en PAV	P135-4	Incoasfaltos	16
			--
			--

Al observar los resultados de las muestras se observa un desempeño dentro de los rangos especificados para asfalto cauchos, en la especificación 625-18 y del tipo I INVIAS, para solo dos de las muestras evaluadas que se encuentran en el rango medio del intervalo, mientras que la muestra de de Multinsa no cumple presenta una rigidización mayor que la

saca del intervalo lo que podría ser por problemas de adecuado control de temperatura durante fabricación pero no es posible definirlo con estos ensayos, esta rigidización puede inducir a procesos de fisuración temprana.

- Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro**) (INV E 707-13)**

Tabla 166. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado con GCR original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
GCR Tipo I	P058-1	Humberto Quintero	1,018
Cemento Asfáltico Modificado	P091-1	Multinsa	1,028
Asfalto modificado con GCR	P135-4	Incoasfaltos	1,029

Tabla 167. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
GCR Tipo I Envejecido en RTFO	P058-1	Humberto Quintero	1,016
Cemento Asfáltico Modificado en RTFO	P091-1	Multinsa	--
Asfalto modificado con GCR en RTFO	P135-4	Incoasfaltos	1,023

Tabla 168. Resultados obtenidos del ensayo INV E 707-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-707-13. (g/cm^3)
			Resultados Obtenidos
GCR Tipo I Envejecido en PAV	P058-1	Humberto Quintero	1,017
Cemento Asfáltico Modificado en PAV	P091-1	Multinsa	--
Asfalto modificado con GCR en PAV	P135-4	Incoasfaltos	1,036

- Punto de ablandamiento (Aparato de anillo y bola) (**INV E 712-13**)

Tabla 169. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado con GCR original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. Punto de ablandamiento (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 625-18
GCR Tipo I	P058-1	Humberto Quintero	57,3	52	-	Cumple
			57,4	52	-	Cumple
			57,4	52	-	Cumple
Cemento Asfáltico Modificado	P091-1	Multinsa	65,0	52	-	Cumple
			65,4	52	-	Cumple
			65,2	52	-	Cumple
Asfalto modificado con GCR	P135-4	Incoasfaltos	62,3	52	-	Cumple
			62,4	52	-	Cumple
			62,4	52	-	Cumple

Tabla 170. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. Punto de ablandamiento (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 625-18
GCR Tipo I Envejecido en RTFO	P058-1	Humberto Quintero	65,3	52	-	Cumple
			65,3	52	-	Cumple
			65,2	52	-	Cumple
Cemento Asfáltico Modificado en RTFO	P091-1	Multinsa	71,6	52	-	Cumple
			71,8	52	-	Cumple
			71,6	52	-	Cumple
Asfalto modificado con GCR en RTFO	P135-4	Incoasfaltos	75,9	52	-	Cumple
			76,1	52	-	Cumple
			76,0	52	-	Cumple

Tabla 171. Resultados obtenidos del ensayo INV E 712-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-712-13. Punto de ablandamiento (°C)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 625-18
GCR Tipo I Envejecido en PAV	P058-1	Humberto Quintero	75,6	52	-	Cumple
			75,8	52	-	Cumple
			75,6	52	-	Cumple
Cemento Asfáltico Modificado en PAV	P091-1	Multinsa	99,3	52	-	Cumple
			99,7	52	-	Cumple
			99,6	52	-	Cumple
Asfalto modificado con GCR en PAV	P135-4	Incoasfaltos	92,6	52	-	Cumple
			93,0	52	-	Cumple
			92,8	52	-	Cumple

Al revisar los resultados de las tres muestras evaluadas, su punto de ablandamiento cumple con lo especificado, estando cercano al límite la muestra obtenida de Humberto Quintero, sin embargo, no se esperan fenómenos de reblandecimiento.

- Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional (**INV E-717-13**).

Tabla 172. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado con GCR original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
GCR Tipo I	P058-1	Humberto Quintero	-	137,3
			-	134
			-	130,3
Cemento Asfáltico Modificado	P091-1	Multinsa	-	3883
			-	3933
			-	3937
Asfalto modificado con GCR	P135-4	Incoasfaltos	-	1744
			-	1672
			-	1624

Tabla 173. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
GCR Tipo I Envejecido en RTFO	P058-1	Humberto Quintero	-	214,7
			-	213
			-	212
Cemento Asfáltico Modificado en RTFO	P091-1	Multinsa	-	7742
			-	7667
			-	7667
Asfalto modificado con GCR en RTFO	P135-4	Incoasfaltos	-	4860
			-	4440
			-	4200

Tabla 174. Resultados obtenidos del ensayo INV E 717-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-717-13. a 60°C (Pa-s)	INV E-717-13. a 135°C (Pa-s)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
GCR Tipo I Envejecido en PAV	P058-1	Humberto Quintero	-	296,7
			-	293,3
			-	290,7
Cemento Asfáltico Modificado en PAV	P091-1	Multinsa	-	27714
			-	27543
			-	27371
Asfalto modificado con GCR en PAV	P135-4	Incoasfaltos	-	10940
			-	10080
			-	9460

Al comparar los resultados de las viscosidades de acuerdo con la especificación ET-625-18, a 163°C ninguna de las muestras ensayadas cumplen presentando una viscosidad inferior a 1.5 que es el límite inferior especificado, se observa como las muestras exhiben una susceptibilidad térmica más alta, lo que pudo deberse a alteraciones del caucho cuando fue expuesto a los incrementos de temperatura, la muestras de incoasfaltos presenta una

sensibilidad mayor debido a que temperaturas cercanas a los 135° pierde su resistencia dramáticamente.

- Método de ensayo para medir la recuperación elástica de materiales asfálticos utilizando el ductilómetro (**INV E-742-13**).

Tabla 175. Resultados obtenidos del ensayo INV E 742-13 para el material Asfalto modificado con GCR original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-742-13. Recuperación (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 625-18
GCR Tipo I	P058-1	Humberto Quintero	85	50	-	Cumple
Cemento Asfáltico Modificado	P091-1	Multinsa	75	50	-	Cumple
Asfalto modificado con GCR	P135-4	Incoasfaltos	73	50	-	Cumple

Al comparar los resultados de la recuperación elástica de acuerdo con la especificación ET-625-18, las tres muestras cumplen, lo que indica un buen desempeño del aditivo para mejorar las propiedades elásticas a temperaturas de operación.

- Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico (G*, d) (**INV E-750-13**).

Tabla 176. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado con GCR original

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
GCR Tipo I	P058-1	Humberto	70	1,778
Cemento Asfáltico Modificado	P091-1	Multinsa	N.A.	N.A.
Asfalto modificado con GCR	P135-4	Incoasfaltos	82	1,124

Tabla 177. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por RTFO

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
GCR Tipo I Envejecido en RTFO	P058-1	Humberto	70	3,435
Cemento Asfáltico Modificado en RTFO	P091-1	Multinsa	N.A.	N.A.
Asfalto modificado con GCR en RTFO	P135-4	Incoasfaltos	88	2,698

Tabla 178. Resultados obtenidos del ensayo INV E 750-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-750-13 Propiedades reológicas- Temperatura obtenida (°C)	INV E-750-13 Propiedades reológicas- G*/sen δ (kPa)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
GCR Tipo I Envejecido en PAV	P058-1	Humberto Quintero	16	4771,2
Cemento Asfáltico Modificado en PAV	P091-1	Multinsa	N.A	N.A
Asfalto modificado con GCR en PAV	P135-4	Incoasfaltos	13	4022,7

- Método de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos utilizando una cámara de envejecimiento a presión (PAV) (**INV E-751-13**).

Tabla 179. Resultados obtenidos del ensayo INV E 751-13 para el material Asfalto modificado con GCR envejecido por PAV

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E 751-13 Tiempo total de envejecimiento (h:min)
			Resultados Obtenidos
GCR Tipo I Envejecido en PAV	P058-1	Humberto Quintero	20:10
Cemento Asfáltico Modificado en PAV	P091-1	Multinsa	20:15
Asfalto modificado con GCR en PAV	P135-4	Incoasfaltos	20:08

H.3.5.11 AGREGADOS PÉTREOS PARA BASES Y SUBBASES

H.3.5.11.1 Material obtenido en cantera

- Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición **(INV E 121-13).**

Tabla 180. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-121-13. Contenido orgánico (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	0,55	-	0,00	No cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	0,57	-	0,00	No cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	0,78	-	0,00	No cumple

Las muestras no cumplieron con lo especificado para el contenido de materia orgánica; al respecto, las especificaciones indican que las partículas de los agregados deben estar libres de materia orgánica u otras sustancias perjudiciales, lo cual pueda afectar su buen desempeño. Los valores obtenidos para el contenido de materia orgánica (el valor máximo fue de 0.78%), son valores normales que se obtienen para los materiales granulares utilizados en Bogotá. Se aclara que, lo que se busca en estos materiales es que estén libres de material vegetal visible; en este caso, no es grave para estos materiales que tengan

contenidos de materia orgánica por debajo de 2%. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado (**INV E-122-13**).

Tabla 181. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-122-13 Humedad natural (%)
			Resultados Obtenidos
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	4,3
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	18,0
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	18,8

Los valores de contenido de humedad no son un parámetro especificado para los materiales granulares para bases y subbases. En campo, el valor de la humedad del material es un parámetro de control para la compactación de las capas de conformación de la estructura de pavimento, el cual debe ser contrastado con el valor de la humedad óptima (INV E-142-13).

- Determinación del límite líquido de los suelos (**INV E-125-13**).

Tabla 182. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-125-13 LL (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	0,00	-	25,00	Cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	17,00	-	25,00	Cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	18,00	-	25,00	Cumple

Las muestras arrojaron valores por debajo de lo especificado, cumpliendo con este parámetro. El valor especificado está acorde con lo especificado para este material por el Invías y por la FHWA. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad para suelos **(INV E-126-13).**

Tabla 183. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-126-13 LP (%)	INV E-126-13 IP (%)			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	0	0,00	-	0,00	Cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	13	4,00	-	3,00	No cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	14,00	4,00	-	6,00	Cumple

La muestra P119-2 arrojó un valor de Índice de Plasticidad por encima del valor mínimo especificado. Sin embargo, es importante observar que este resultado representa únicamente una fracción inferior al 20% del material. Adicionalmente, al revisar los valores de la expansión medidos en el ensayo de CBR para las tres probetas de cada muestra (condición más crítica posible del material), éstos son inferiores a 0.74%; lo anterior indica que, si se evaluara la actividad del material solo por este parámetro (IP), su valoración no sería representativa del comportamiento real del material. Es importante resaltar que la presencia de partículas finas puede reducir significativamente la resistencia a las cargas de los vehículos en las capas granulares; por otro lado, no se debe rechazar un material considerando únicamente valores de plasticidad, sino que el especialista debe realizar un análisis del desempeño del mismo. Los valores para límite plástico no fueron modificados en la actualización de las especificaciones.
Las otras dos muestras cumplieron con lo especificado para el valor de Índice de Plasticidad. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua **(INV E-128-13).**

Tabla 184. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-128-13 Gravedad especifica Gs 20°C
			Resultados Obtenidos
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	2,66
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	2,67
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	2,66

- Equivalente de arena de suelos y agregados finos (**INV E-133-13**)

Tabla 185. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-133-13 Equivalente de arena(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	22,00	30,00	-	No cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	26,00	30,00	-	No cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	25,00	22,00	-	Cumple

La presencia de partículas finas puede reducir significativamente la resistencia a las cargas de los vehículos en las capas granulares. Los valores especificados por el IDU son bajos comparados con los especificados por el Invías y por la especificación española PG3, para estos materiales. Por lo anterior, se consideró conveniente incrementar este requisito para Bases, a 30%, y para Subbases a 22%.
Las muestras P119-2 y P149-1 (materiales de Base) no cumplen con este nuevo requisito; sin embargo, en las actualizaciones de las especificaciones de 2011 se había incorporado la siguiente nota para los materiales que no cumplan este requisito "En caso de que el equivalente de arena sea inferior, pero se cumpla plasticidad y azul de metileno, se acepta el material con un concepto del desempeño por parte del especialista de geotecnia y/o pavimentos."

Sólo la muestra P119-2 (BG_C) no cumplió con ninguno de estos tres requisitos.

- Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (Ensayo modificado de compactación) (**INV E-142-13**).

Tabla 186. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-142-13 Densidad seca máxima (kN/m³)	INV E-142-13 Humedad óptima (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	20,49	8,00
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	20,79	7,00
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	20,91	7,00

- CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada (**INV E-148-13**).

Tabla 187. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Penetración al crítico (%)				
			Resultados Obtenidos	% referido gd_max	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	330,00	100,00	-	-	Cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	171,00	100,00	80,00	-	Cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	81,00	95,00	30,00	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 Expasión total (%; máximo de las tres probetas)
			Resultados Obtenidos
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	0,04
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	0,09
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	0,09

Debido a que se incorporó el requisito de Módulo Resiliente (**INV E-156-13**), para los materiales de Base y Subbase granular Clase A, el requisito de CBR se elimina para estos materiales.

Las muestras de Base y Subbase granular Clase C arrojaron valores de CBR por encima de lo especificado, cumpliendo con este parámetro. El Invías especifica algunos valores ligeramente inferiores a los especificados por el IDU; por otro lado, y teniendo en cuenta el aporte en estabilidad de la estructura de pavimento que ofrecen las capas granulares, éste parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones para los materiales Clase C.

Debido a que se incorporó el requisito de Módulo Resiliente (INV E-156-13), para los materiales de Base y Subbase granular Clase A, el requisito de CBR se elimina para estos materiales.

- Módulo Resiliente de suelos y agregados **(INV E 156-13).**

Tabla 188. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-156-13 Módulo resiliente de suelos y agregados ($M_R=k_1\theta^{k2}$ MPa)					
			k_1	k_2	θ (kPa)	M_R (MPa)	Valor mín	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	10,454	0,4492	207,079	114,73	100,00	Cumple
BG_A	P149-1 (UA)	Pavimentos colombia	8,653	0,4854	207,079	115,18	100,00	Cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	10,832	0,4212	207,079	102,39	-	-
BG_C	P119-2 (UA)	Cantera Tequia	11,858	0,5099	207,079	179,94	-	-
BG_C	P119-2_1	Cantera Tequia	15,634	0,3819	207,079	119,84	-	-
BG_C	P119-2_2	Cantera Tequia	13,624	0,3966	207,079	112,95	-	-
BG_C	P119-2_3	Cantera Tequia	15,283	0,3796	207,079	115,72	-	-
BG_C	P119-2_4	Cantera Tequia	14,194	0,3921	207,079	114,88	-	-
BG_C	P119-2_5	Cantera Tequia	15,555	0,3841	207,079	120,64	-	-
BG_C	P119-2_6	Cantera Tequia	22,773	0,3220	207,079	126,83	-	-
BG_C	P119-2_7	Cantera Tequia	14,246	0,3920	207,079	115,24	-	-
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	11,858	0,4377	82,887	81,99	-	-
SBG_C	P119-1_1	Cantera Tequia	24,937	0,3131	82,887	99,43	-	-
SBG_C	P119-1_2	Cantera Tequia	20,330	0,3409	82,887	91,65	-	-
SBG_C	P119-1_3	Cantera Tequia	14,358	0,3915	82,887	80,94	-	-
SBG_C	P119-1_4	Cantera Tequia	18,828	0,3428	82,887	85,60	-	-
SBG_C	P119-1_5	Cantera Tequia	14,377	0,3887	82,887	80,05	-	-
SBG_C	P119-1_6	Cantera Tequia	12,288	0,4136	82,887	76,38	-	-
SBG_C	P119-1_7	Cantera Tequia	17,042	0,3654	82,887	85,61	-	-
SBG_C	P119-1_8	Cantera Tequia	49,016	0,2121	82,887	125,10	-	-

Este parámetro no está especificado en las especificaciones actuales del IDU; se incorpora el requisito de Módulo Resiliente para los materiales de Base y Subbase granular Clase A.

La validación del módulo resiliente para la Base granular se debe realizar comparándolo con el valor obtenido en laboratorio para la condición de esfuerzos de 207 kPa (invariante de esfuerzos θ), de acuerdo con la norma de ensayo INV E-156-13; y la validación del módulo resiliente para la Subbase granular se debe realizar comparándolo con el valor obtenido en laboratorio para la condición de esfuerzos de 83 kPa (invariante de esfuerzos θ), de acuerdo con la norma de ensayo INV E-156-13. Los valores requeridos son de 100 MPa para la Base granular, y 70 MPa para la Subbase granular. Las muestras P149-1 y P149-1 (UA) cumplieron con este requisito. El análisis de escogencia de los niveles de esfuerzo (invariante de esfuerzos θ), para la valoración de este parámetro, y los valores mínimos especificados, se indica a continuación:

Resultado del modelado de casi 300000 estructuras de pavimento flexible, donde se varió el espesor de todas las capas de la estructura, sus módulos, y el módulo de la subrasante (desde S1 a S5), se encontró que el valor de θ variaba en las capas de Base granular entre 22.56 kPa y 163.13 kPa (3.27 psi y 23.66 psi; ver Ilustración 21. Valor de θ en máximo en la capa de Base granular), y en la Subbase granular entre 17.92 kPa y 81.85 kPa (2.60 psi 11.87 psi; ver Ilustración 22. Valor de θ máximo en la capa de Subbase granular), lo que resultó similar a lo reportado por la AASHTO[1] , donde recomiendan valores de θ entre 5 psi y 30 psi para la Base, y 5 psi a 10 psi para la Subbase.

[1] American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. 640 pages

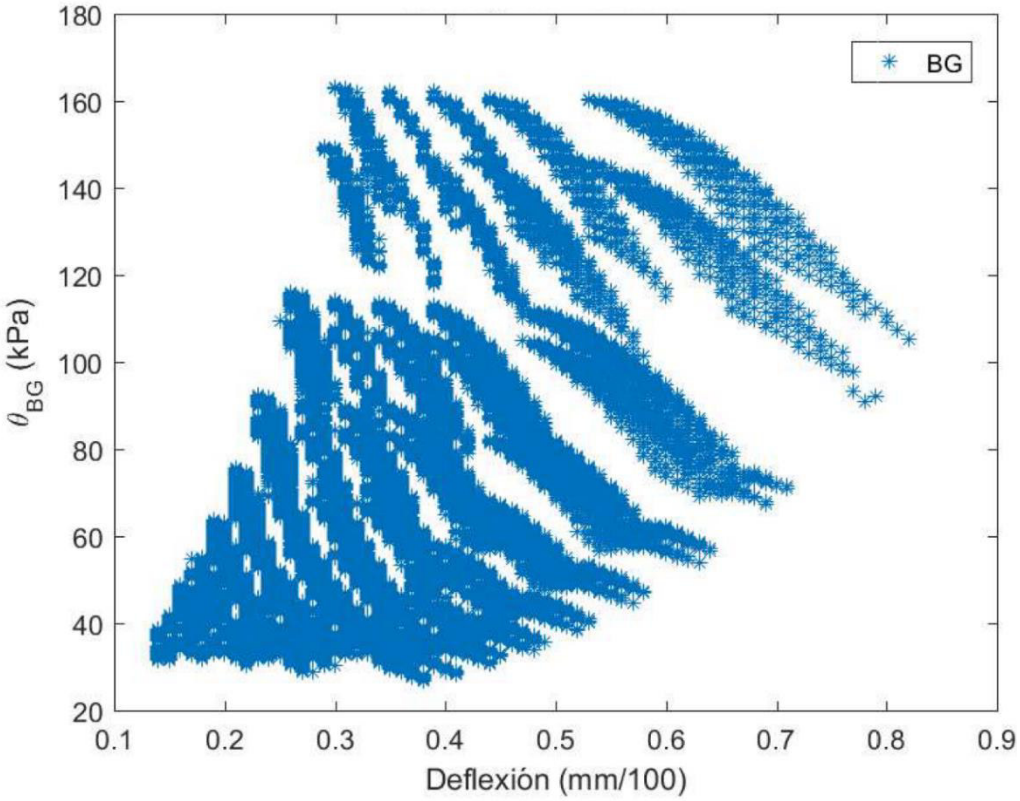


Ilustración 21. Valor de θ en máximo en la capa de Base granular

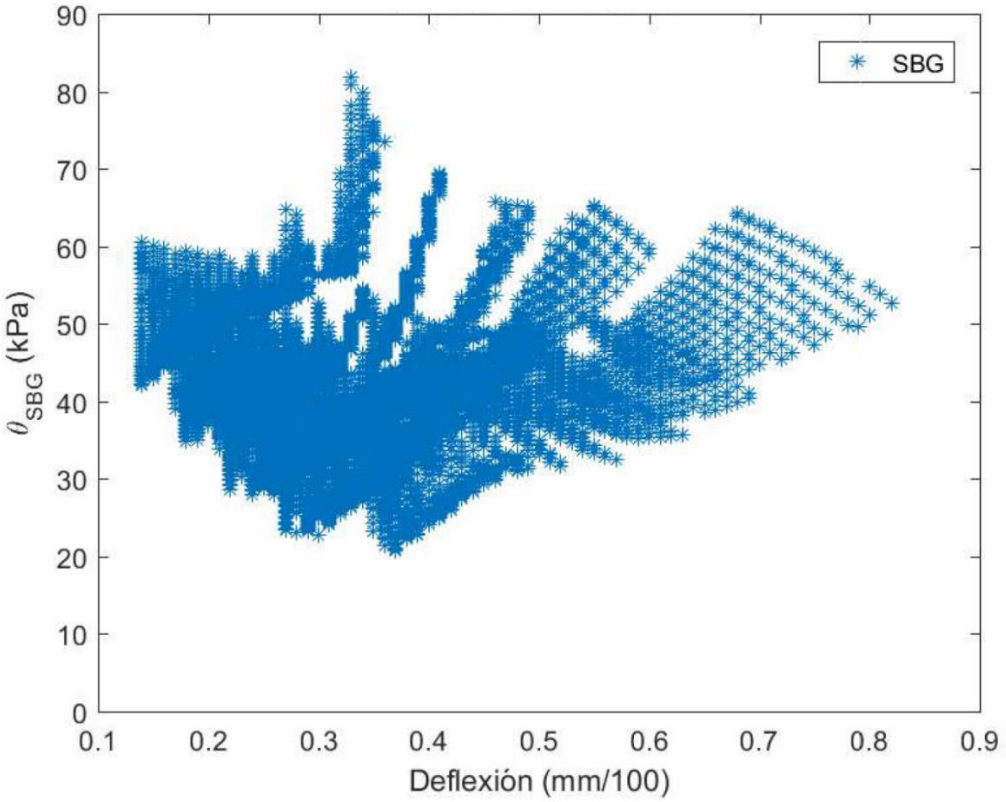


Ilustración 22. Valor de θ máximo en la capa de Subbase granular

De este estudio se concluye que el Módulo resiliente para la Base granular puede ser evaluado para una condición de esfuerzos de θ = 207.08 kPa (serie 5 del ensayo INV E-156-13), y θ = 82.89 kPa en la Subbase granular (serie 1 del ensayo INV E-156-13).

De los resultados experimentales realizados a los granulares para Base (ver Ilustración 23. Resultados Módulo Resiliente para Base granular (cantera)) y Subbase (ver Ilustración 24. Resultados Módulo Resiliente para Subbase granular (cantera)), y evaluando el módulo resiliente para una condición de esfuerzos de θ = 207.08 kPa y θ = 82.89 kPa, respectivamente, se propuso para las nuevas especificaciones que estos materiales presenten un módulo resiliente mayor a 100 MPa para la Base granular, y 70 MPa para la Subbase granular. Las dos muestras ensayadas Clase A cumplieron con este requisito.

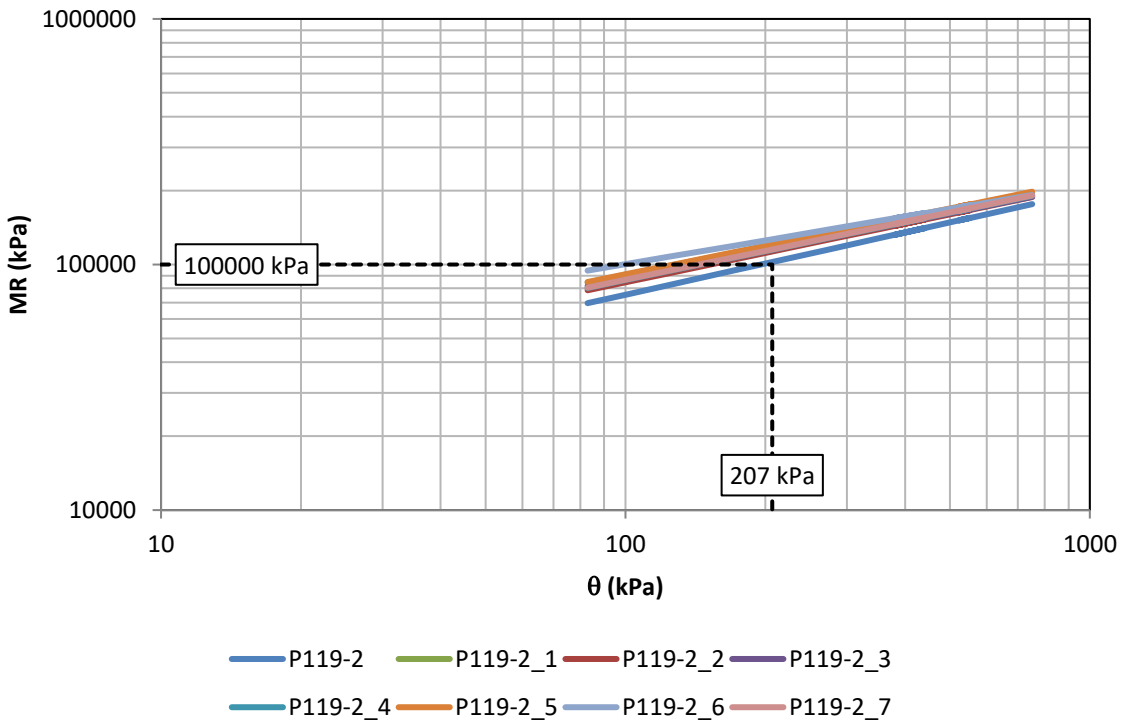


Ilustración 23. Resultados Módulo Resiliente para Base granular (cantera)

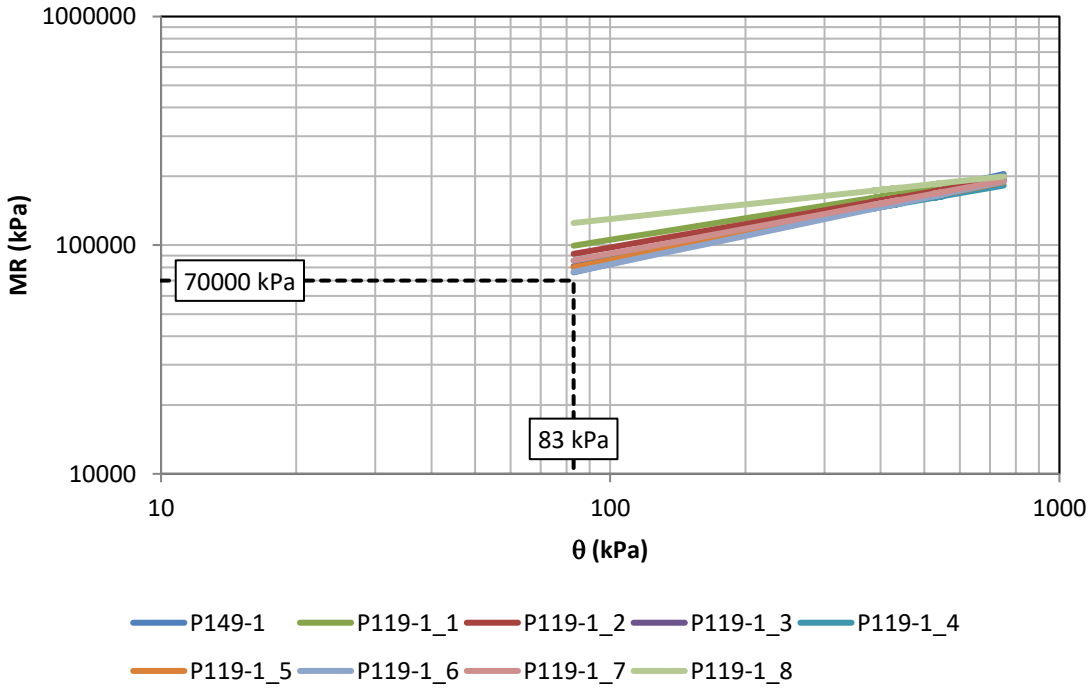


Ilustración 24. Resultados Módulo Resiliente para Subbase granular (cantera)

- Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados (**INV E-211-13**).

Tabla 189. Resultados obtenidos del ensayo INV E 211-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-211-13 Terrones Arcilla y partículas deleznables (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	1,14	0	2	Cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	0,74	0	2	Cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	0,71	0	2	Cumple

Las muestras arrojaron un valor por debajo de lo especificado, cumpliendo con este parámetro. Las capas granulares deben estar libre de arcilla o cualquier otra sustancia que afecte su buen desempeño. Los valores especificados para este parámetro son iguales a los considerados por el Invías; así las cosas, los valores especificados para este parámetro no fueron modificados en la actualización de las especificaciones.

- Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (**INV E-213-13**).

Tabla 190. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-213-13 Curva Granulomética	
			Resultados Obtenidos	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	Curva	No cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	Curva	No cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	Curva	Cumple

Tabla 191. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P149-1 Base granular clase A.

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA
37,5	1½	0,0	0,0	0,0	100,0 ± 0,0 *
25,0	1	136,3	2,6	2,6	97,4 ± 1,9 *
19,0	¾	511,7	9,7	12,3	87,7 ± 1,7 *
12,5	½	750,1	14,2	26,5	73,5 ± 1,0 *
9,50	⅜	421,9	8,0	34,6	65,4 ± 0,9 *
4,75	No 4	1001,3	19,0	53,6	46,4 ± 0,6 *
2,00	No 10	889,2	16,9	70,5	29,5 ± 0,4 *
0,43	No 40	573,4	10,9	81,3	18,7 ± 0,3 *
0,18	No 80	492,4	9,3	90,7	9,3 ± 0,1 *
0,07	No 200	309,4	5,9	96,6	3,4 ± 0,0 *
FONDO		180,8	3,4	100	---

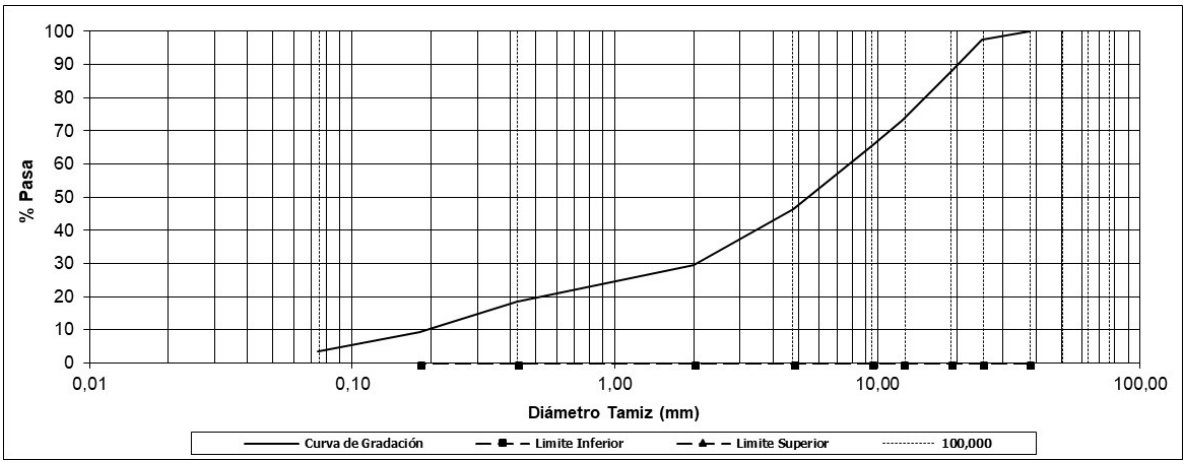


Tabla 192. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P119-2 Base granular clase C

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)			
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA			
76,10	3	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
64,00	2½	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
50,80	2	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
38,10	1½	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
25,40	1	826,4	7,6	7,6	92,4	±	1,3	*
19,00	¾	1235,8	11,4	19,0	81,0	±	1,1	*
12,70	½	1243,7	11,5	30,5	69,5	±	1,4	*
9,530	⅜	725,9	6,7	37,2	62,8	±	1,3	*
4,760	No 4	1558,3	14,4	51,6	48,4	±	0,7	*
2,360	No 8	1037,7	9,6	61,1	38,9	±	0,5	*
1,2	No 16	850,3	7,8	69,0	31,0	±	0,4	*
0,6	No 30	833,8	7,7	76,7	23,3	±	0,3	*
0,3	No 50	788,2	7,3	83,9	16,1	±	0,2	*
0,2	No 100	471,0	4,3	88,3	11,7	±	0,2	*
0,1	No 200	445,0	4,1	92,4	7,6	±	0,1	*
FONDO		824,5	7,6	100	---			

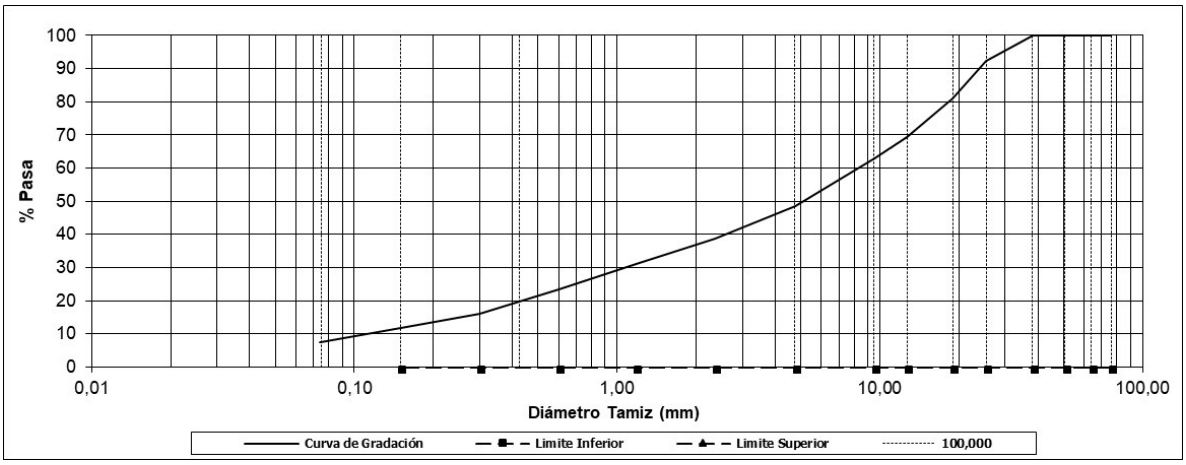
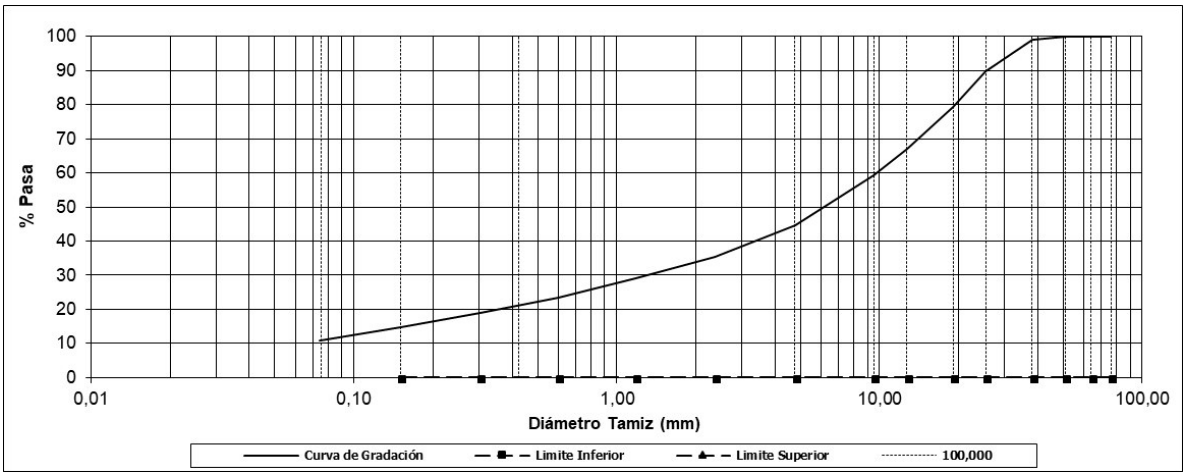


Tabla 193. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P119-1 Subbase granular clase C.

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)			
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA			
76,10	3	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
64,00	2½	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
50,80	2	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
38,10	1½	139,1	1	1,0	99,0	±	0,0	*
25,40	1	1238,7	9,1	10,1	89,9	±	1,2	*
19,00	¾	1447,6	10,6	20,7	79,3	±	1,1	*
12,70	½	1668,2	12,2	32,9	67,1	±	1,3	*
9,530	⅜	1054,5	7,7	40,7	59,3	±	1,2	*
4,760	No 4	2000,8	14,7	55,3	44,7	±	0,6	*
2,360	No 8	1262,1	9,2	64,6	35,4	±	0,5	*
1,2	No 16	889,3	6,5	71,1	28,9	±	0,4	*
0,6	No 30	754,8	5,5	76,6	23,4	±	0,3	*
0,3	No 50	633,1	4,6	81,2	18,8	±	0,3	*
0,2	No 100	539,8	4,0	85,2	14,8	±	0,2	*
0,1	No 200	562,7	4,1	89,3	10,7	±	0,1	*
FONDO		1457,2	10,7	100,0	---			



La curva granulométrica de la muestra P119-1 se encuentra dentro de la franja granulométrica especificada para una Subbase granular tipo SB_Gr2, aproximándose en el tamiz No. 70 al límite superior.

La curva granulométrica de la muestra P119-2, la cual se encuentra dentro de la franja granulométrica especificada para una Base granular tipo SB_Gr1, se sale de la franja granulométrica por los tamices No. 8 y No. 18 en el límite superior, lo cual es una condición de rechazo del material.

La curva granulométrica de la muestra P149-1 se encuentra dentro de la franja granulométrica especificada para una Base granular tipo BG_Gr1, saliéndose en el tamiz 1" al límite superior, indicando exceso de finos en este tamaño, lo cual es una condición de rechazo del material; la ausencia de agregado grueso limita su resistencia al impacto y al desgaste.

Se realizó una revisión de las gradaciones actuales para Subbases respecto a su máxima densificación utilizando la potencia 0.45 (ver Ilustración 25. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Subbase granular tipo SB_Gr1 a la Ilustración 28. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Base granular tipo BG_Gr2); de este análisis se concluye que las gradaciones se encuentran ajustadas a su máxima densificación, por lo que los valores especificados para este parámetro no fueron modificados en la actualización de las especificaciones.

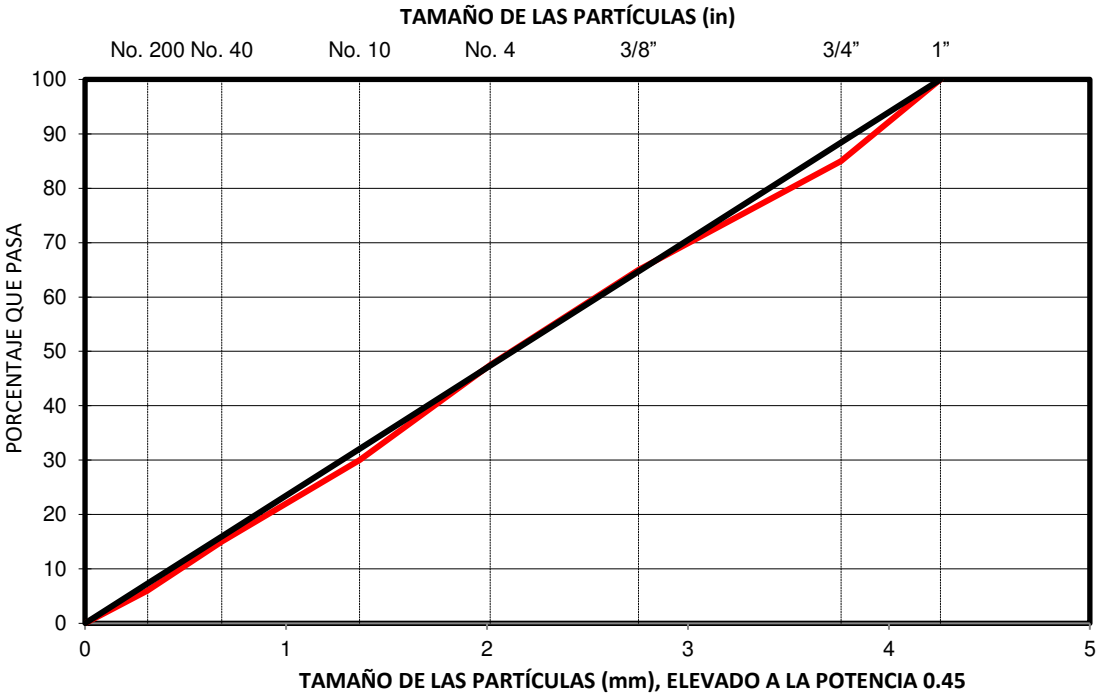


Ilustración 25. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Subbase granular tipo SB_Gr1

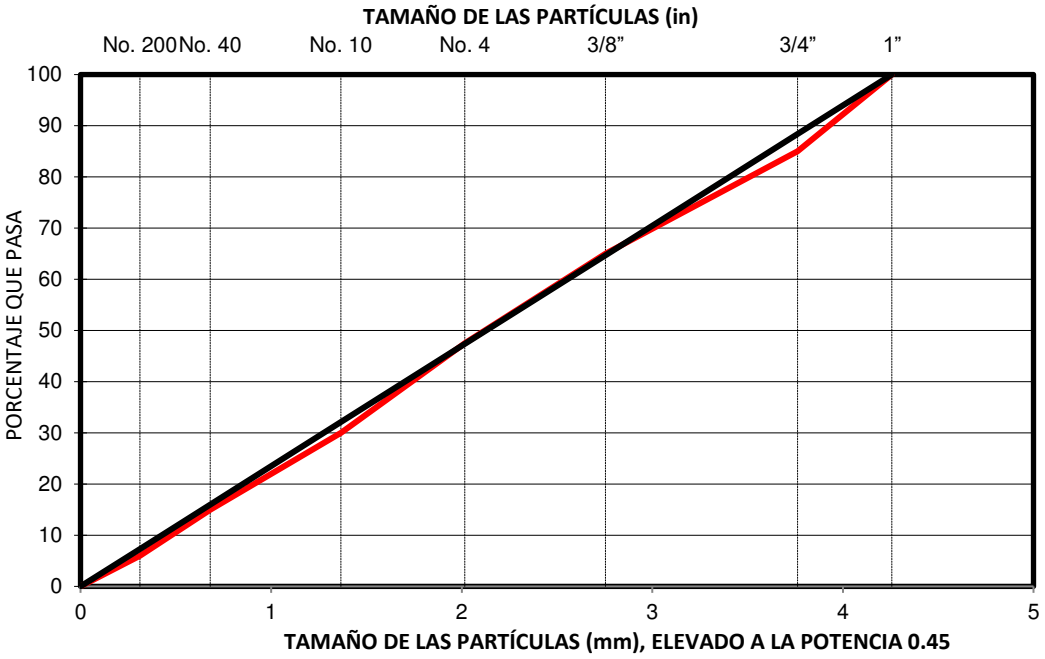


Ilustración 26. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Subbase granular tipo SB_Gr2

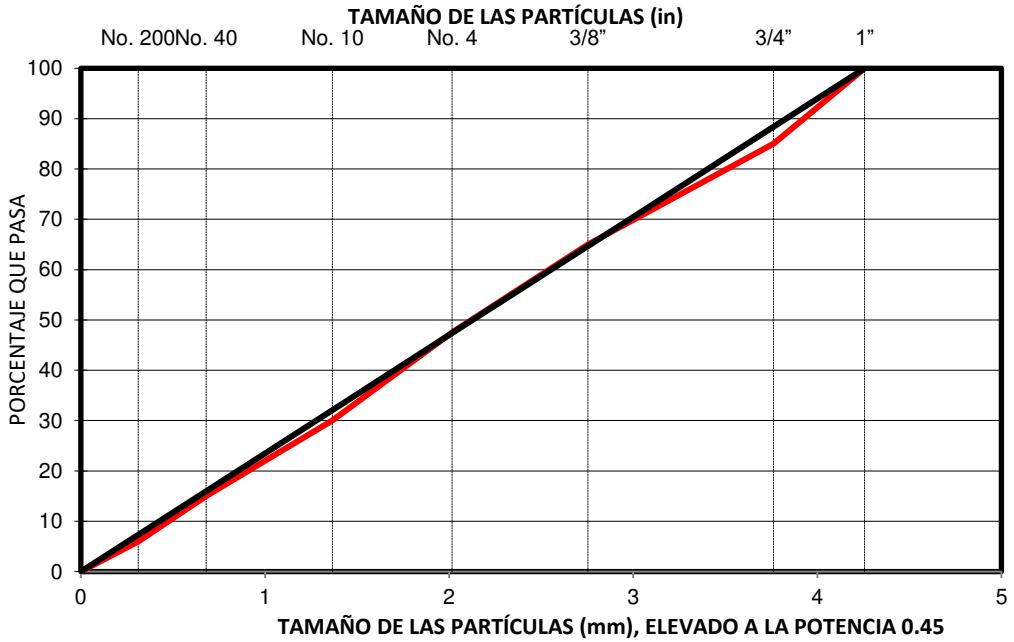


Ilustración 27. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Base granular tipo BG_Gr1

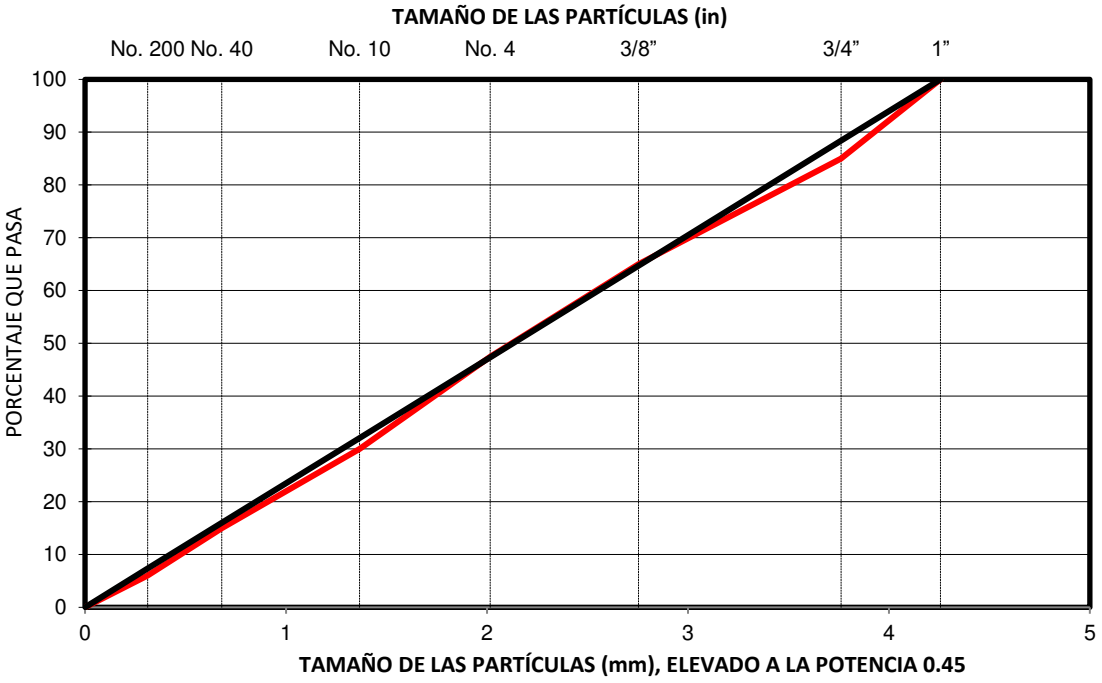


Ilustración 28. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Base granular tipo BG_Gr2

- Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 um (N° 200) en los agregados pétreos mediante lavado **(INV E-214-13):**

Este ensayo es complemento al ensayo "Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino" (INV E-213-13), por lo que sus resultados no están especificados.

- Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles **(INV E-218-13).**

Tabla 194. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-218-13 Desgaste LA (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	26,00	-	35,00	Cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	36,00	-	40,00	Cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	35,00	-	45,00	Cumple

Las muestras ensayadas arrojaron valores por debajo de lo especificado, cumpliendo con este parámetro. Los valores especificados para este parámetro no fueron modificados en la actualización de las especificaciones.

- Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio (**INV E-220-13**).

Tabla 195. Resultados obtenidos del ensayo INV E 220-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13 Agregado Fino - Sulfato de Magnesio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	2,74	-	18,00	Cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	3,64	-	18,00	Cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	4,48	-	18,00	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13 Agregado Grueso - Sulfato de Magnesio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	0,48	-	18,00	Cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	3,20	-	18,00	Cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	4,55	-	18,00	Cumple

La naturaleza de este ensayo busca simular las condiciones y afectaciones de los materiales debido a los procesos de congelamiento y descongelamiento, que pueden inducir el fracturamiento de los agregados por expansión del agua congelada en las micro-fisuras; esta condición no es representativa para los materiales a utilizar en Bogotá por sus condiciones climáticas (esto aplica igualmente a todos los materiales a utilizarse en países tropicales). Adicionalmente, es un ensayo que tiene mala repetitividad, y que se ha planteado por muchos autores como no representativo para estimar las condiciones de desempeño en campo del material. Por lo anterior, este requisito se elimina de las especificaciones para Bases y Subbases granulares, más aún teniendo en cuenta que están especificados controles de dureza a partir de ensayos como el 10% finos, el Micro-Deval, y el desgaste en la máquina de los Ángeles, que tasan en una forma satisfactoria la durabilidad de los materiales.

Por otro lado, se indica que las muestras ensayadas cumplieron con lo especificado para este parámetro, tanto para el agregado fino como para el agregado grueso.

- Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino **(INV E-222-13).**

Tabla 196. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-222-13 Densidad SH (kg/m³)	INV E-222-13 Densidad relativa SH (-)	INV E-222-13 Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	2350,00	2,35	2,38
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	2330,00	2,33	4,65
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	2270,00	2,28	5,55

Los resultados de estos ensayos se utilizan para diseño de mezclas, por lo que sus valores de cumplimiento no se encuentran especificados; por lo anterior no se presenta un análisis de resultados.

- Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso **(INV E-223-13).**

Tabla 197. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-223-13 Densidad SH (kg/m³)	INV E-223-13 Densidad relativa SH (-)	INV E-223-13 Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	2320,00	2,32	5,10
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	2290,00	2,30	4,40
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	2300,00	2,30	4,50

Los resultados de estos ensayos se utilizan para diseño de mezclas, por lo que sus valores de cumplimiento no se encuentran especificados; por lo anterior no se presenta un análisis de resultados.

- Determinación del valor del 10% de finos (**INV E 224-13**).

Tabla 198. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-224-13 10% de finos - Valor en seco (kN)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	194,00	100,00	-	Cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	112,00	60,00	-	Cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	163,00	40,00	-	Cumple

Las muestras ensayadas arrojaron valores por encima de lo especificado, cumpliendo con este parámetro. Es importante tener en cuenta que las partículas deben tener la resistencia suficiente para resistir la degradación o el fracturamiento durante la construcción, y bajo las cargas de compactación y del tráfico. Los valores especificados para este parámetro no fueron modificados en la actualización de las especificaciones

- Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso (**INV E 227-13**).

Tabla 199. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-227-13 Caras fracturadas - 1 Cara (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	100,00	100	-	Cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	100,00	60	-	Cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	100,00	50	-	Cumple

Para las capas granulares de Base, se prefiere el uso de agregados angulares, casi equidimensionales con una textura de superficie rugosa, con el fin de asegurar un alto grado de fricción interna y resistencia al deslizamiento del agregado. Por lo anterior, se incrementó el requisito de partículas fracturas para la Base granular Clase A, a 100% para 1 cara, y a 70% para 2 caras; los otros valores especificados no fueron modificados en la actualización de las especificaciones. Todos los materiales ensayados cumplen con este requisito.

Para las capas granulares de Base y Subbase, se prefiere el uso de agregados angulares, casi equidimensionales con una textura de superficie rugosa, con el fin de asegurar un alto

grado de fricción interna y resistencia al deslizamiento del agregado. Teniendo en cuenta que la función de las capas de Subbase granular es ofrecer una transición entre la subrasante y la Base granular, se considera pertinente conservar el parámetro especificado para tránsitos altos (materiales Clase A); en este sentido se aclara que el Invías no especifica este parámetro para las capas de Subbase granular, y la FHWA sí especifica un valor mínimo de 50% tanto para Subbase como Base granular.

- Valor de Azul de Metileno en agregados finos (**INV E 235-13**).

Tabla 200. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-235-13 Azul de metileno (g/ml)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	4,99	-	10,00	Cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	11,64	-	10,00	No cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	10,66	-	10,00	No cumple

Las muestras P119-1 y P119-2 no cumplieron con este parámetro; Sin embargo, los valores obtenidos no resultan ser muy elevado para considerar presencia de minerales arcillosos 2:1 (como la Ilita o la Montmorillonita), cuyos valores en este ensayo son aproximadamente superiores a 20; así las cosas, no se considera un resultado crítico que indique rechazo del material por actividad. La muestra 149-1 cumplió con este parámetro.

El Invías sólo especifica este parámetro para las Bases granulares, teniendo el mismo valor que el IDU; por otro lado, es importante entender que la presencia de partículas finas puede reducir significativamente la resistencia a las cargas de los vehículos en las capas de Base y Subbase granular, por lo que se considera importante conservar el control sobre este parámetro. Por otro lado, no se debe rechazar un material considerando únicamente valores de plasticidad, sino que el especialista debe realizar un análisis del desempeño del mismo. Los valores especificados para este parámetro no fueron modificados en la actualización de las especificaciones

- Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión utilizando el aparato Micro-Deval (**INV E-238-13**).

Tabla 201. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-238-13 Micro-Deval (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	21,70	-	25,00	Cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	35,40	-	30,00	No cumple
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	33,80	-	35,00	Cumple

Se incrementó el requisito de Micro Deval para la Base granular Clase A, a 25% (porcentaje máximo). Este parámetro estima la resistencia del agregado grueso a la abrasión y degradación mecánica durante la manipulación, construcción, y puesta en servicio de las capas conformadas.

Con este ajuste en la actualización de las especificaciones, cambió el cumplimiento para la muestra P149-1 (BG_A); por otro lado, la muestra de Base granular (P119-2), no cumplió con este requisito, lo cual es indicio de rechazo del mismo

- Proporción de las partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos (**INV E-240-13**).

Tabla 202. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas (%)		
			Resultados Obtenidos	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	0,00	20,00	Cumple
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	0,00	-	-
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	0,00	-	-

Tabla 203. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas alargadas(%)	INV E-240-13 Particulas planas y alargadas(%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BG_A	P149-1	Pavimentos colombia	0,00	0,00
BG_C	P119-2	Cantera Tequia	0,00	0,00
SBG_C	P119-1	Cantera Tequia	0,00	0,00

La de Base granular obtuvo un valor de 0% para este parámetro. Las especificaciones del IDU e Invías no contempla este ensayo de laboratorio para determinar el porcentaje de partículas planas y alargadas, teniéndose en cuenta el ensayo en la norma INV E-230-13 para determinar los índices de alargamiento y aplanamiento. Especificaciones internacionales demandan, en materiales para Base y Subbase, valores menores de 20% para relaciones 1:3. Los ensayos a las muestras P119-1 y P119-2 se realizaron con una relación ancho-espesor (partículas planas), y longitud-ancho (partículas alargadas), mayores a 5 (relación 1:5), la cual es mucho más crítica que para una relación 1:3, lográndose valores de 0%, lo que indica que este material es apto para ser utilizado como Subbase granular.

H.3.5.11.2 Material obtenido de proyectos en ejecución

- Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición **(INV E 121-13).**

Tabla 204. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-121-13 Contenido orgánico (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P048(1)-2	Cali	2,04	-	0,00	No cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	5,25	-	0,00	No cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	1,67	-	0,00	No cumple
SBG_A	P048(1)-1	Cali	1,49	-	0,00	No cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	0,87	-	0,00	No cumple
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	5,51	-	0,00	No cumple

Las muestras no cumplieron con lo especificado para el contenido de materia orgánica; al respecto, las especificaciones indican que las partículas de los agregados deben estar libres de materia orgánica u otras sustancias perjudiciales, lo cual pueda afectar su buen desempeño.

Se aclara que, lo que se busca en estos materiales es que estén libres de material vegetal visible; en este caso, no es grave para estos materiales que tengan contenidos de materia orgánica por debajo de 2%. Dos muestras obtuvieron valores para el contenido de materia orgánica por encima de 2% (P044-3, y P048(1)-6), lo cual pudo ser un problema de manipulación del material en obra; las otras muestras obtuvieron valores por debajo de 2% (a excepción de la muestra P048(1)-2 que obtuvo un valor cercano al 2%), los cuales son valores normales que se obtienen para los materiales granulares utilizados en Bogotá. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado (**INV E-122-13**).

Tabla 205. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-122-13 Humedad natural (%)
			Resultados Obtenidos
BG_A	P035(2)-3	1ro de mayo	4,20
BG_A	P035(2)-5-6	Calle 94	5,50
BG_A	P048(1)-2	Cali	6,20
BG_C	P048(1)-6	Cali	9,10
SBG_A	P035(2)-7	1ro de mayo	3,30
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	3,30
SBG_A	P048(1)-1	Cali	6,10
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	3,70
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	4,50

Los valores de contenido de humedad no son un parámetro especificado para los materiales granulares para bases y subbases. En campo, el valor de la humedad del material es un parámetro de control para la compactación de las capas de conformación de la estructura de pavimento, el cual debe ser contrastado con el valor de la humedad óptima (INV E-142-13).

- Determinación del límite líquido de los suelos (**INV E-125-13**).

Tabla 206. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-125-13 LL (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P035(2)-3	1ro de mayo	16,00	-	25,00	Cumple
BG_A	P035(2)-5-6	Calle 94	17,00	-	25,00	Cumple
BG_A	P048(1)-2	Cali	20,00	-	25,00	Cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	25,00	-	25,00	Cumple
SBG_A	P035(2)-7	1ro de mayo	16,00	-	25,00	Cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	18,00	-	25,00	Cumple
SBG_A	P048(1)-1	Cali	19,00	-	25,00	Cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	18,00	-	25,00	Cumple
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	21,00	-	40,00	Cumple

Las muestras arrojaron valores por debajo de lo especificado, cumpliendo con este parámetro. El valor especificado está acorde con lo especificado para este material por el Invías y por la FHWA. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad para suelos **(INV E-126-13).**

Tabla 207. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-126-13 LP (%)	INV E-126-13 IP (%)			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P035(2)-3	1ro de mayo	15,00	1,00	-	0,00	No cumple
BG_A	P035(2)-5-6	Calle 94	16,00	1,00	-	0,00	No cumple
BG_A	P048(1)-2	Cali	16,00	4,00	-	0,00	No cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	23,00	2,00	-	3,00	Cumple
SBG_A	P035(2)-7	1ro de mayo	10,00	6,00	-	3,00	No cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	17,00	1,00	-	3,00	Cumple
SBG_A	P048(1)-1	Cali	18,00	2,00	-	3,00	Cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	17,00	2,00	-	6,00	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-126-13 LP (%)	INV E-126-13 IP (%)			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	16,00	6,00	-	10,00	Cumple

Las muestras P035(2)-7, P035(2)-3, P035(2)-5-6 y P048(1)-2, arrojaron un valor de Índice de Plasticidad por encima del valor mínimo especificado. Sin embargo, es importante observar que este resultado representa únicamente una fracción inferior al 20% del material. Adicionalmente, al revisar los valores de la expansión medidos en el ensayo de CBR para las tres probetas de cada muestra (condición más crítica posible del material), éstos son inferiores a 0.74%; lo anterior indica que, si se evaluara la actividad del material solo por este parámetro (IP), su valoración no sería representativa del comportamiento real del material. Es importante resaltar que la presencia de partículas finas puede reducir significativamente la resistencia a las cargas de los vehículos en las capas granulares; por otro lado, no se debe rechazar un material considerando únicamente valores de plasticidad, sino que el especialista debe realizar un análisis del desempeño del mismo. Los valores para límite plástico no fueron modificados en la actualización de las especificaciones.

Las otras muestras cumplieron con lo especificado para el valor de Índice de Plasticidad. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua (**INV E-128-13**).

Tabla 208. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-128-13 Gravedad especifica Gs 20°C
			Resultados Obtenidos
BG_A	P035(2)-3	1ro de mayo	2,67
BG_A	P035(2)-5-6	Calle 94	2,66
BG_A	P048(1)-2	Cali	2,64
BG_C	P048(1)-6	Cali	2,59
SBG_A	P035(2)-7	1ro de mayo	2,66
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	2,66
SBG_A	P048(1)-1	Cali	2,64
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	2,67
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	2,67

Los valores obtenidos están por debajo de los valores que usualmente se asumen a nivel laboratorio para realizar la verificación de densidades en campo usando el densímetro nuclear (valor de 2.7). Por lo anterior, se propone incluir en las especificaciones el ensayo de gravedad específica como un insumo para los ensayos de control de compactación.

- Equivalente de arena de suelos y agregados finos (**INV E-133-13**).

Tabla 209. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-133-13 Equivalente de arena(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P048(1)-2	Cali	26,33	30,00	-	No cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	66,67	30,00	-	Cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	21,00	22,00	-	No cumple
SBG_A	P048(1)-1	Cali	25,33	22,00	-	Cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	23,00	22,00	-	Cumple
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	16,33	20,00	-	No cumple

La presencia de partículas finas puede reducir significativamente la resistencia a las cargas de los vehículos en las capas granulares. Los valores especificados por el IDU son bajos comparados con los especificados por el Invías y por la especificación española PG3, para estos materiales. Por lo anterior, se consideró conveniente incrementar este requisito para Bases, a 30%, y para Subbases a 22%.

Las muestras P048(1)-2 (materiales de Base), y P044-1 (materiales de Subbase) no cumplen con este nuevo requisito; tampoco cumplió la muestra P044-3 (materiales de Subbase para vías peatonales; su valor de cumplimiento no se modificó); sin embargo, en las actualizaciones de las especificaciones de 2011 se había incorporado la siguiente nota para los materiales que no cumplan este requisito “En caso de que el equivalente de arena sea inferior, pero se cumpla plasticidad y azul de metileno, se acepta el material con un concepto del desempeño por parte del especialista de geotecnia y/o pavimentos.”

Sólo la muestra P048(1)-2 (BG_A), no cumplió con ninguno de estos tres requisitos.

- Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (Ensayo modificado de compactación) (**INV E-142-13**).

Tabla 210. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-142-13 Densidad seca máxima (kN/m³)	INV E-142-13 Humedad óptima (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BG_A	P048(1)-2	Cali	20,00	7,20
BG_C	P048(1)-6	Cali	18,35	12,60
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	20,99	6,00
SBG_A	P048(1)-1	Cali	21,00	7,40
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	20,70	7,30
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	20,48	7,90

Los valores de densidad máxima y humedad óptima no son un parámetro especificado para los materiales granulares para bases y subbases. En campo, estos valores son parámetros de control para la compactación de las capas de conformación de la estructura de pavimento, al igual que para adelantar el ensayo CBR y verificar su resultado referido al porcentaje de la densidad seca máxima especificado.

- CBR de suelos compactados en el laboratorio (**INV E-148-13**).

Tabla 211. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Penetración al crítico (%)				
			Resultados Obtenidos	% referido g_{d_max}	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P048(1)-2	Cali	75,00	100,00	-	-	-
BG_C	P048(1)-6	Cali	175,00	100,00	80,00	-	Cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	99,00	95,00	-	-	-
SBG_A	P048(1)-1	Cali	78,00	95,00	-	-	-
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	435,00	95,00	30,00	-	Cumple
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	59,00	95,00	20,00	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Expasión total (%; máximo de las tres probetas)
			Resultados Obtenidos
BG_A	P048(1)-2	Cali	0,35
BG_C	P048(1)-6	Cali	0,04
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	0,24
SBG_A	P048(1)-1	Cali	0,39
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	0,02
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	0,24

Debido a que se incorporó el requisito de Módulo Resiliente (**INV E-156-13**), para los materiales de Base y Subbase granular Clase A, el requisito de CBR se elimina para estos materiales.

Las muestras de Base y Subbase granular Clase C arrojaron valores de CBR por encima de lo especificado, cumpliendo con este parámetro. El Invías especifica algunos valores ligeramente inferiores a los especificados por el IDU; por otro lado, y teniendo en cuenta el aporte en estabilidad de la estructura de pavimento que ofrecen las capas granulares, éste parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones para los materiales Clase C

- Módulo Resiliente de suelos y agregados (**INV E-156-13**).

Tabla 212. Resultados del ensayo INV E 156-13 el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-156-13 Módulo resiliente de suelos y agregados ($M_R=k_1\theta^{k2}$ MPa)						
			k_1	k_2	θ (kPa)	M_R (MPa)	Valor min	Valor máx	Según Especificación 400-11
BG_A	P048(1)-2	Cali	18,78	0,342	207,08	116,38	100,00	-	Cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	20,64	0,3468	207,08	131,19	-	-	-
SBG_A	P048(1)-1	Cali	21,68	0,3155	82,89	87,37	70,00	-	Cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	11,29	0,4172	82,89	71,30	-	-	-

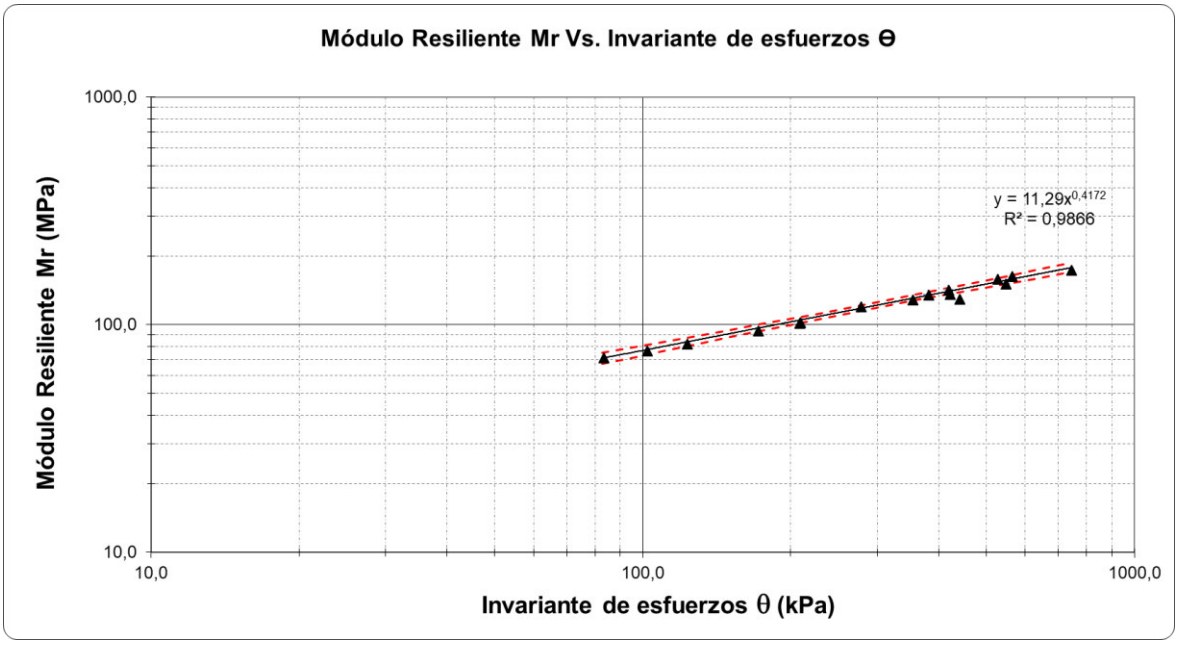


Ilustración 29. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P137-2 Subbase granular clase C

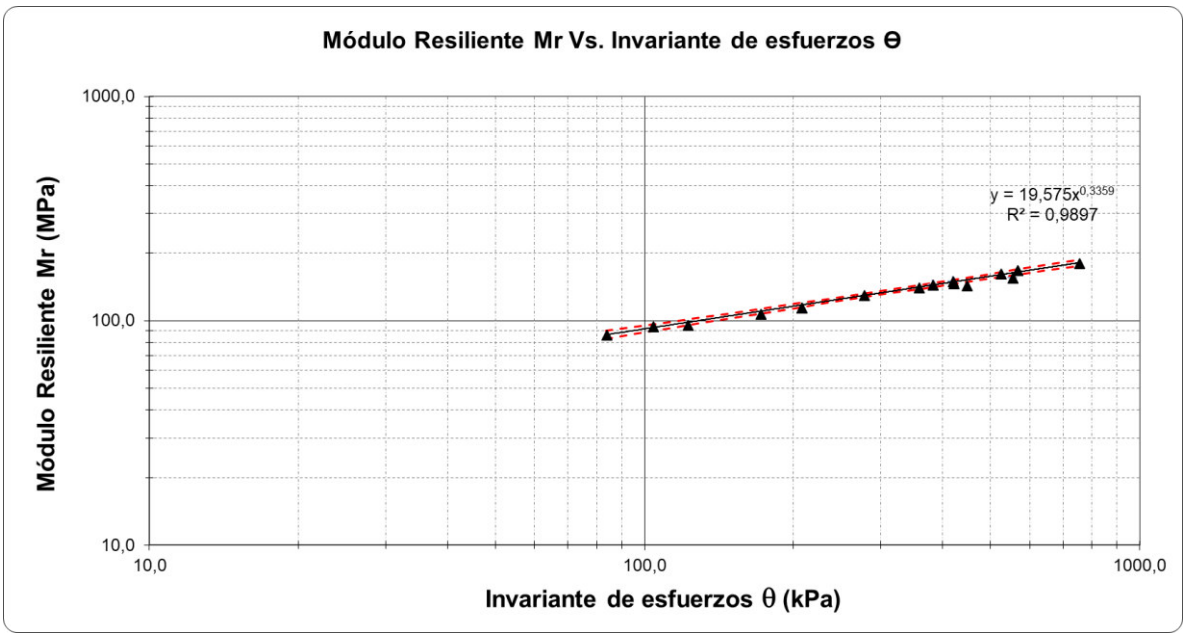


Ilustración 30. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P048(1)-1 Subbase granular clase A

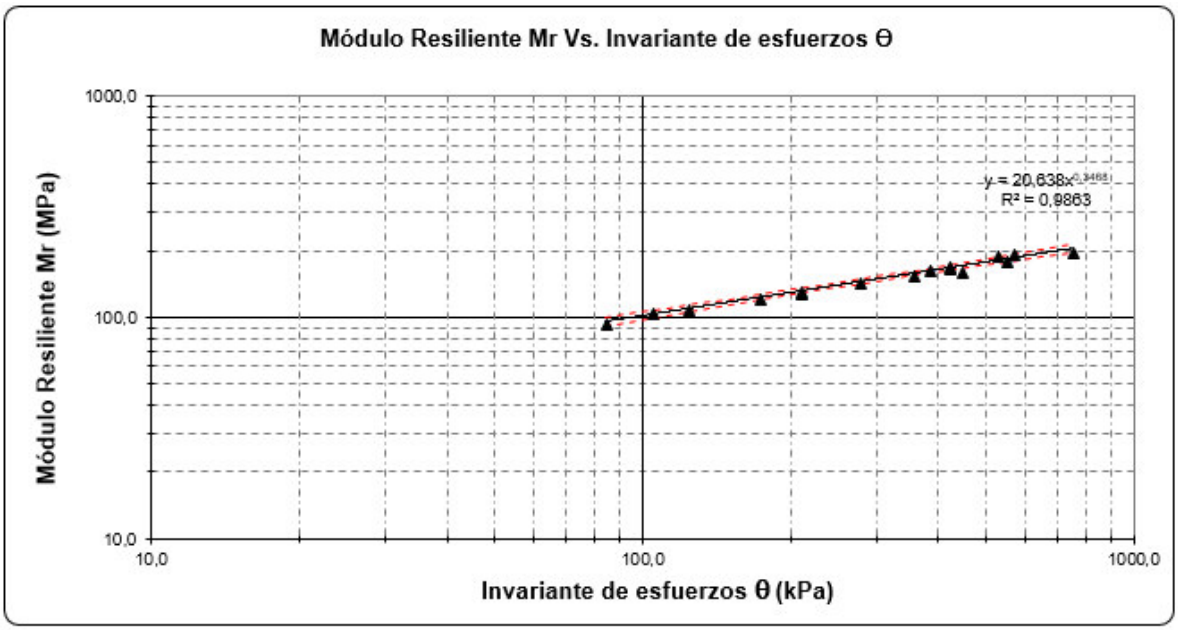


Ilustración 31. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P048(1)-6 Base granular clase C

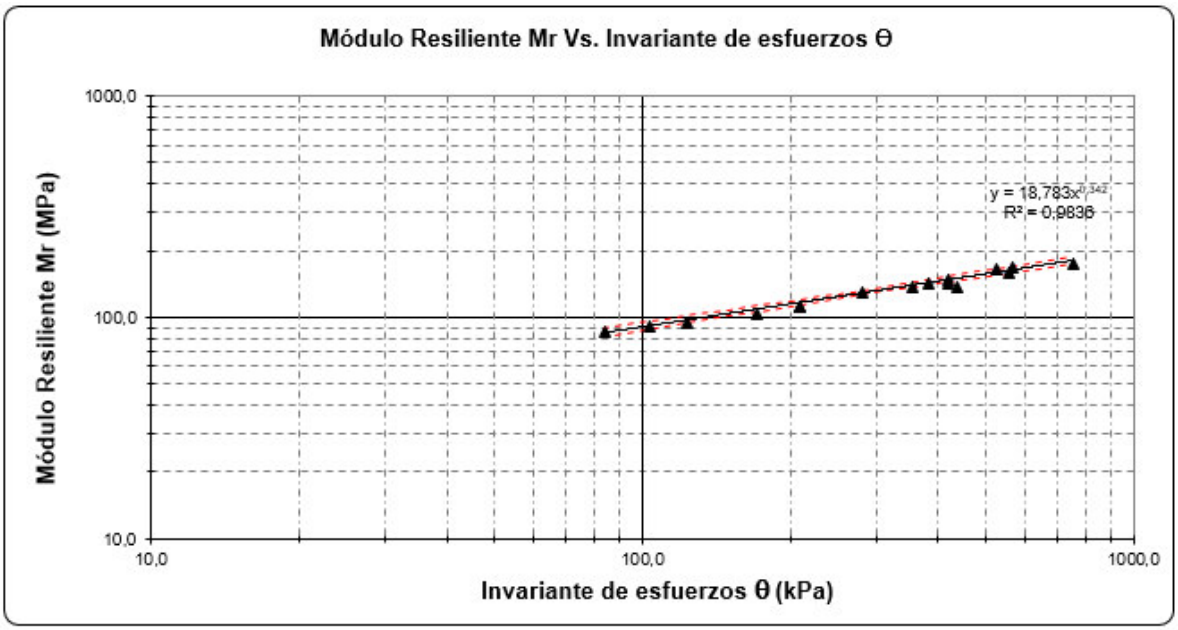


Ilustración 32. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para la referencia P048(1)-2 Base granular clase A

Este parámetro no está especificado en las especificaciones actuales del IDU; se incorpora el requisito de Módulo Resiliente para los materiales de Base y Subbase granular Clase A.

La validación del módulo resiliente para la Base granular se debe realizar comparándolo con el valor obtenido en laboratorio para la condición de esfuerzos de 207 kPa (invariante de esfuerzos θ), de acuerdo con la norma de ensayo INV E-156-13; y la validación del módulo resiliente para la Subbase granular se debe realizar comparándolo con el valor obtenido en laboratorio para la condición de esfuerzos de 83 kPa (invariante de esfuerzos θ), de acuerdo con la norma de ensayo INV E-156-13. Los valores requeridos son de 100 MPa para la Base granular, y 70 MPa para la Subbase granular. Las muestras P048(1)-2 y P048(1)-1 cumplieron con este requisito. El análisis de escogencia de los niveles de esfuerzo (invariante de esfuerzos θ), para la valoración de este parámetro, y los valores mínimos especificados, se indicaron anteriormente; como complemento, a continuación, se presentan los resultados para el material de proyectos en ejecución.

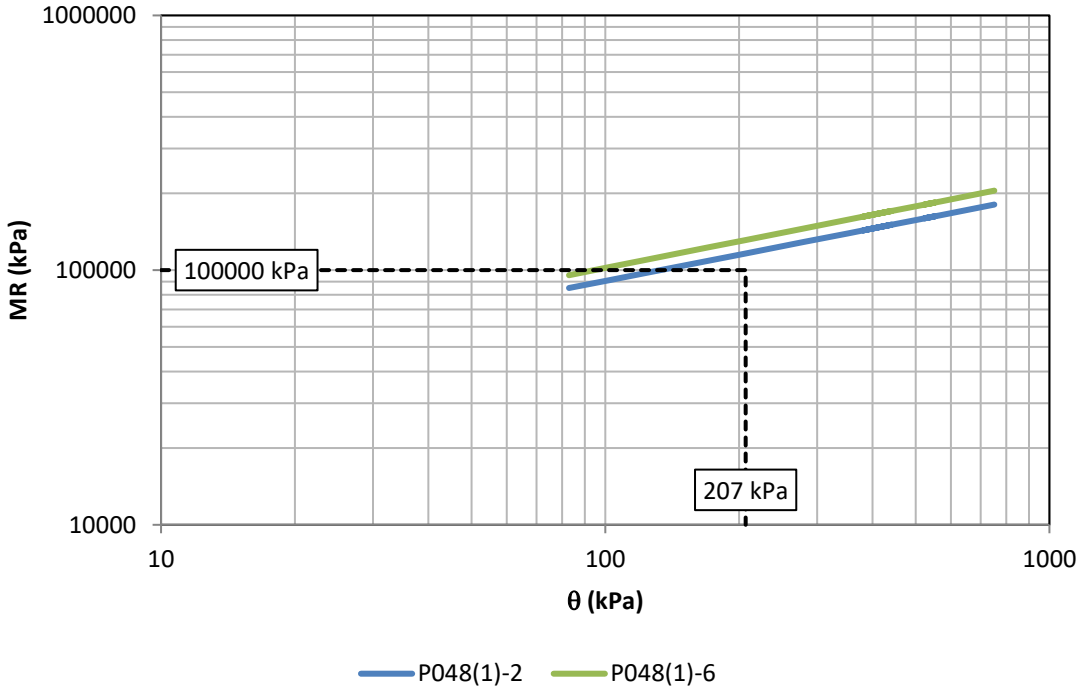


Ilustración 33. Resultados Módulo Resiliente para Base granular (proyectos en ejecución)

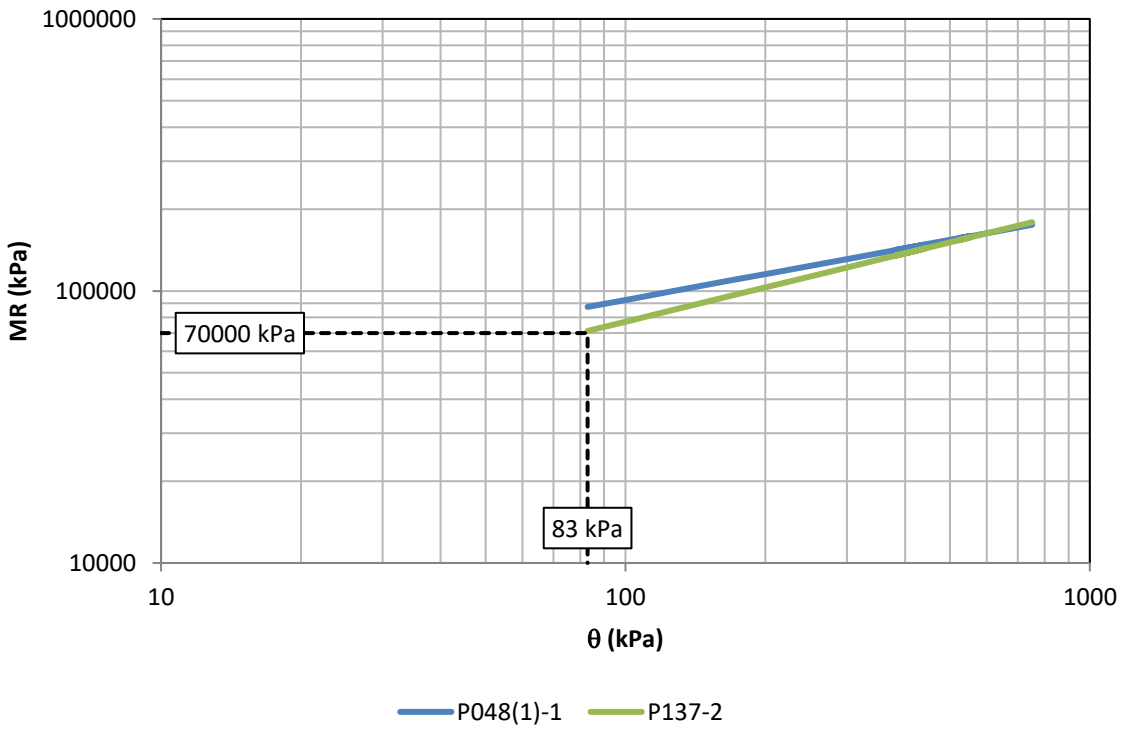


Ilustración 34. Resultados Módulo Resiliente para Subbase granular (proyectos en ejecución)

- Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados (**INV E-211-13**).

Tabla 213. Resultados obtenidos del ensayo INV E 211-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-211-13 Terrones Arcilla y partículas deleznables (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P048(1)-2	Cali	0,89	0,00	2,00	Cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	0,46	0,00	2,00	Cumple
SBG_A	P048(1)-1	Cali	1,01	0,00	2,00	Cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	0,58	0,00	2,00	Cumple

Las muestras arrojaron un valor por debajo de lo especificado, cumpliendo con este parámetro. Las capas granulares deben estar libre de arcilla o cualquier otra sustancia que afecte su buen desempeño. Los valores especificados para este parámetro son iguales a los considerados por el Invías; así las cosas, los valores especificados para este parámetro no fueron modificados en la actualización de las especificaciones.

- Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino (**INV E-213-13**).

Tabla 214. Resultados del ensayo INV E 213-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-213-13 Curva Granulomética	
			Resultados Obtenidos	Según Especificación 510-18
BG_A	P048(1)-2	Cali	Curva	No Cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	Curva	Cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	Curva	No Cumple
SBG_A	P048(1)-1	Cali	Curva	Cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	Curva	No Cumple
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	Curva	Cumple

Tabla 215. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P048(1)-2 Base granular clase A

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA
76,10	3	0,0	0	0,0	100,0 ± 0,0 *
64,00	2½	0,0	0	0,0	100,0 ± 0,0 *
50,80	2	0,0	0	0,0	100,0 ± 14,2 *
38,10	1½	0,0	0	0,0	100,0 ± 14,2 *
25,40	1	64,1	1,3	1,3	98,7 ± 1,3 *
19,00	¾	550,5	11,3	12,6	87,4 ± 1,2 *
12,70	½	952,0	19,5	32,0	68,0 ± 1,3 *
9,530	⅜	787,1	16,1	48,1	51,9 ± 1,0 *
4,760	No 4	1158,3	23,7	71,8	28,2 ± 0,4 *
2,360	No 8	530,5	10,8	82,7	17,3 ± 0,2 *
1,2	No 16	222,7	4,6	87,2	12,8 ± 0,2 *
0,6	No 30	108,2	2,2	89,4	10,6 ± 0,1 *
0,3	No 50	75,2	1,5	91,0	9,0 ± 0,1 *
0,2	No 100	72,7	1,5	92,5	7,5 ± 0,1 *
0,1	No 200	83,8	1,7	94,2	5,8 ± 0,1 *
FONDO		285,3	5,8	100	---

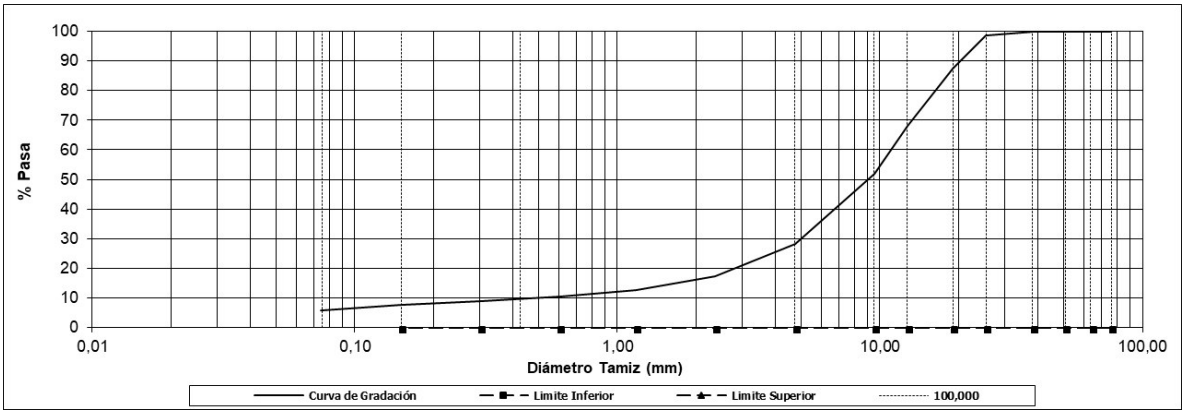


Tabla 216. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P048(1)-6 Base granular clase C

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)			
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA			
76,10	3	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
64,00	2½	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
50,80	2	0,0	0	0,0	100,0	±	14,2	*
38,10	1½	0,0	0	0,0	100,0	±	14,2	*
25,40	1	1224,9	18,1	18,1	81,9	±	1,1	*
19,00	¾	785,6	11,6	29,8	70,2	±	1,0	*
12,70	½	1103,6	16,3	46,1	53,9	±	1,1	*
9,530	⅜	573,6	8,5	54,6	45,4	±	0,9	*
4,760	No 4	1006,0	14,9	69,5	30,5	±	0,4	*
2,360	No 8	552,8	8,2	77,7	22,3	±	0,3	*
1,2	No 16	307,6	4,6	82,3	17,7	±	0,2	*
0,6	No 30	221,2	3,3	85,5	14,5	±	0,2	*
0,3	No 50	256,1	3,8	89,3	10,7	±	0,1	*
0,2	No 100	269,6	4,0	93,3	6,7	±	0,1	*
0,1	No 200	127,4	1,9	95,2	4,8	±	0,1	*
FONDO		323,1	4,8	100	---			

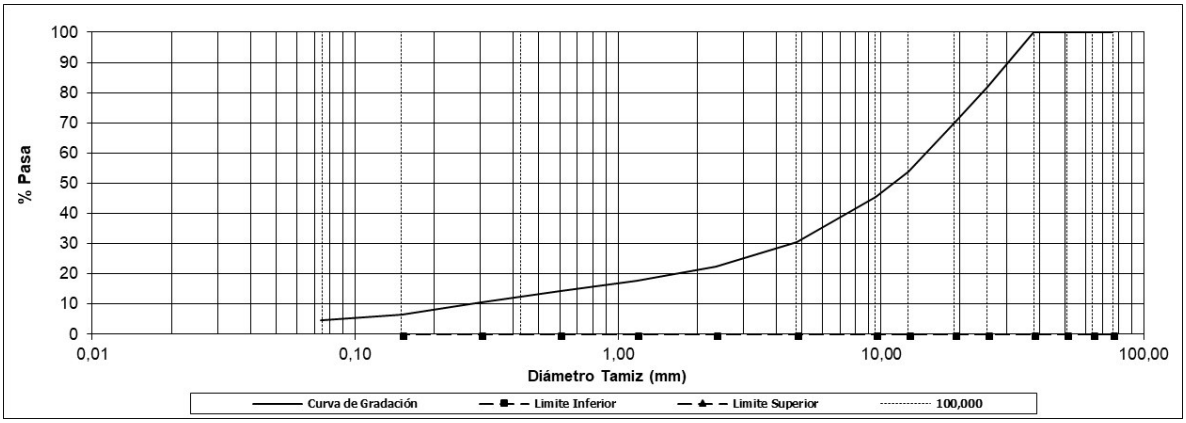


Tabla 217. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P044-1 Subbase granular clase A

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)			
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA			
76,10	3	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
64,00	2½	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
50,80	2	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
38,10	1½	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
25,40	1	717,7	11,2	11,2	88,8	±	1,2	*
19,00	¾	669,6	10,5	21,7	78,3	±	1,1	*
12,70	½	894,9	14,0	35,7	64,3	±	1,3	*
9,530	⅜	541,9	8,5	44,2	55,8	±	1,1	*
4,760	No 4	1008,7	15,8	60,0	40,0	±	0,6	*
2,360	No 8	572,1	9,0	69,0	31,0	±	0,4	*
1,2	No 16	281,2	4,4	73,4	26,6	±	0,4	*
0,6	No 30	146,8	2,3	75,7	24,3	±	0,3	*
0,3	No 50	116,6	1,8	77,5	22,5	±	0,3	*
0,2	No 100	300,0	4,7	82,2	17,8	±	0,2	*
0,1	No 200	298,3	4,7	86,9	13,1	±	0,2	*
FONDO		836,7	13,1	100	---			

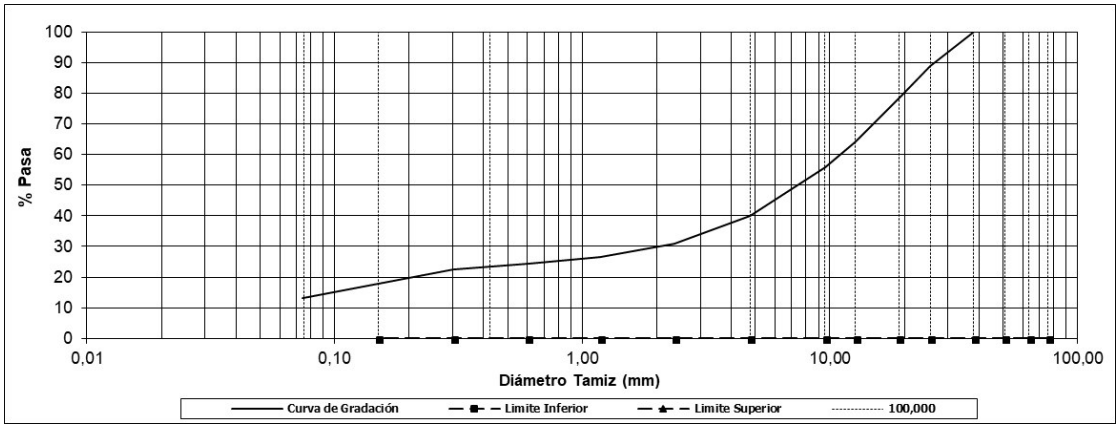


Tabla 218. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P048(1)-1 Subbase granular clase A

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)			
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA			
76,10	3	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
64,00	2½	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
50,80	2	0,0	0	0,0	100,0	±	14,2	*
38,10	1½	0,0	0	0,0	100,0	±	14,2	*
25,40	1	287,0	5,4	5,4	94,6	±	1,3	*
19,00	¾	496,3	9,3	14,7	85,3	±	1,2	*
12,70	½	872,5	16,3	31,0	69,0	±	1,4	*
9,530	⅜	280,5	5,3	36,2	63,8	±	1,3	*
4,760	No 4	919,2	17,2	53,5	46,5	±	0,6	*
2,360	No 8	776,6	14,5	68,0	32,0	±	0,4	*
1,2	No 16	426,2	8,0	76,0	24,0	±	0,3	*
0,6	No 30	238,4	4,5	80,4	19,6	±	0,3	*
0,3	No 50	163,6	3,1	83,5	16,5	±	0,2	*
0,2	No 100	222,9	4,2	87,7	12,3	±	0,2	*
0,1	No 200	213,3	4,0	91,7	8,3	±	0,1	*
FONDO		445,2	8,3	100	---			

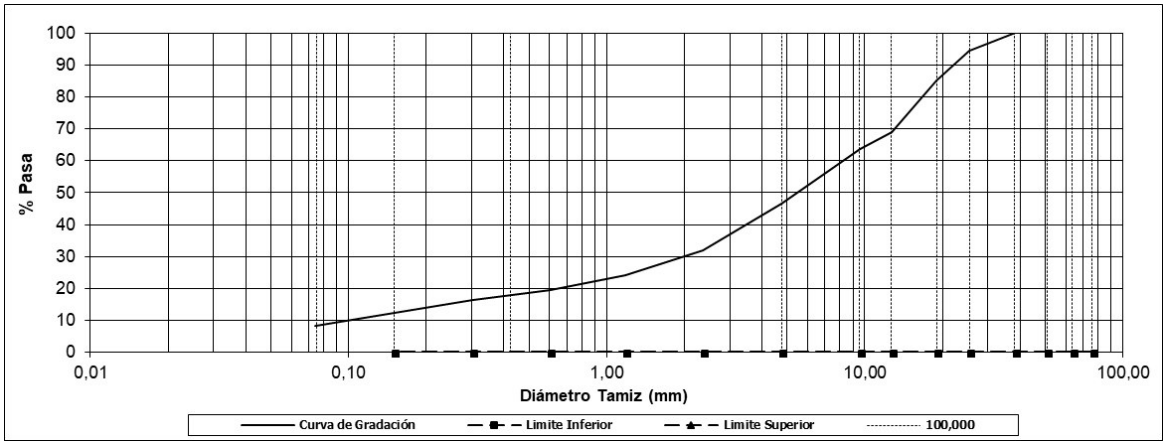


Tabla 219. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P048(1)-1 Subbase granular clase A

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)			
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA			
76,10	3	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
64,00	2½	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
50,80	2	0,0	0	0,0	100,0	±	14,2	*
38,10	1½	0,0	0	0,0	100,0	±	14,2	*
25,40	1	287,0	5,4	5,4	94,6	±	1,3	*
19,00	¾	496,3	9,3	14,7	85,3	±	1,2	*
12,70	½	872,5	16,3	31,0	69,0	±	1,4	*
9,530	⅜	280,5	5,3	36,2	63,8	±	1,3	*
4,760	No 4	919,2	17,2	53,5	46,5	±	0,6	*
2,360	No 8	776,6	14,5	68,0	32,0	±	0,4	*
1,2	No 16	426,2	8,0	76,0	24,0	±	0,3	*
0,6	No 30	238,4	4,5	80,4	19,6	±	0,3	*
0,3	No 50	163,6	3,1	83,5	16,5	±	0,2	*
0,2	No 100	222,9	4,2	87,7	12,3	±	0,2	*
0,1	No 200	213,3	4,0	91,7	8,3	±	0,1	*
FONDO		445,2	8,3	100	---			

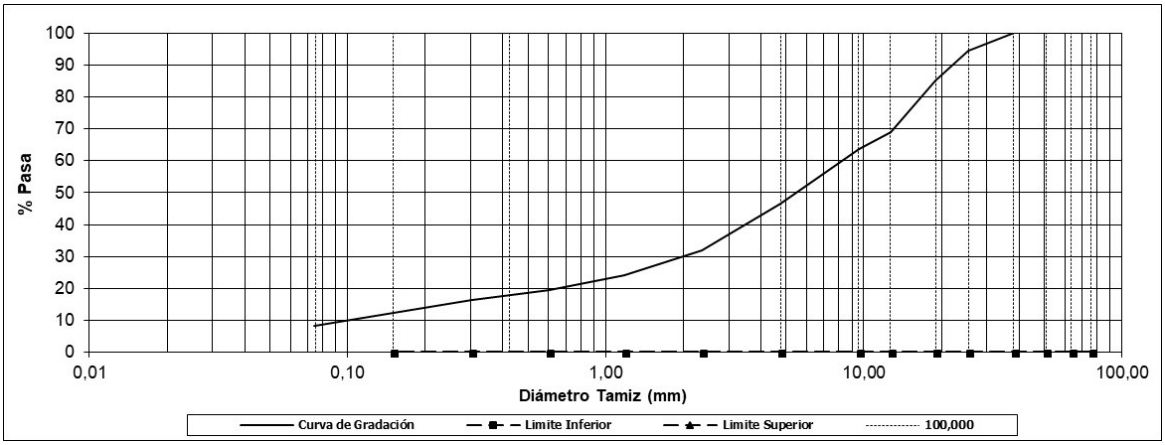


Tabla 220. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P137-2 Subbase granular clase C

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA
38,10	1½	0,0	0	0,0	100,0 ± 0,0 *
25,40	1	140,9	1,8	1,8	98,2 ± 1,3 *
19,00	¾	920,1	11,6	13,4	86,6 ± 1,2 *
12,70	½	1781,9	22,5	35,9	64,1 ± 1,3 *
9,530	⅜	729,8	9,2	45,2	54,8 ± 1,1 *
4,760	No 4	1138,4	14,4	59,5	40,5 ± 0,6 *
2,360	No 10	849,4	10,7	70,3	29,7 ± 0,4 *
1,2	No 20	388,9	4,9	75,2	24,8 ± 0,3 *
0,6	No 40	164,8	2,1	77,3	22,7 ± 0,3 *
0,3	No 60	111,9	1,4	78,7	21,3 ± 0,3 *
0,2	No 140	241,8	3,1	81,8	18,2 ± 0,3 *
0,1	No 200	628,2	7,9	89,7	10,3 ± 0,1 *
FONDO		815,2	10,3	100,0	---

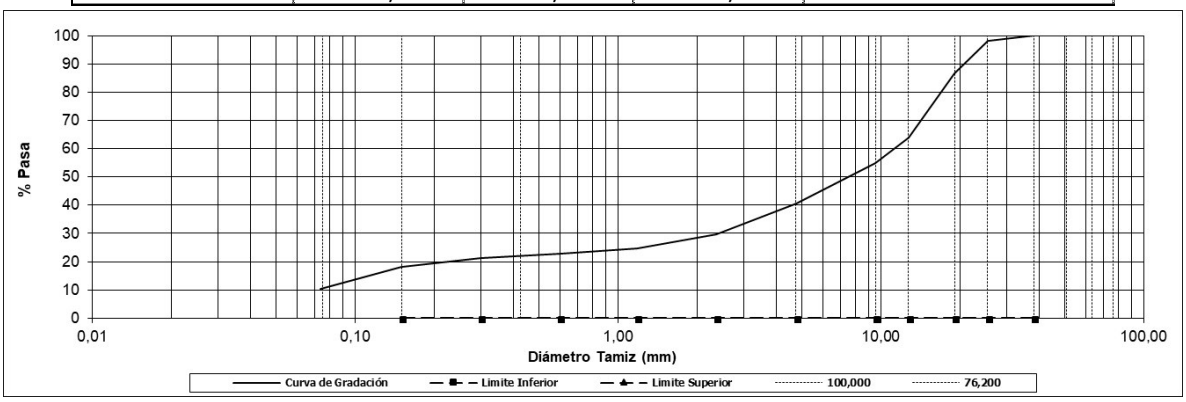
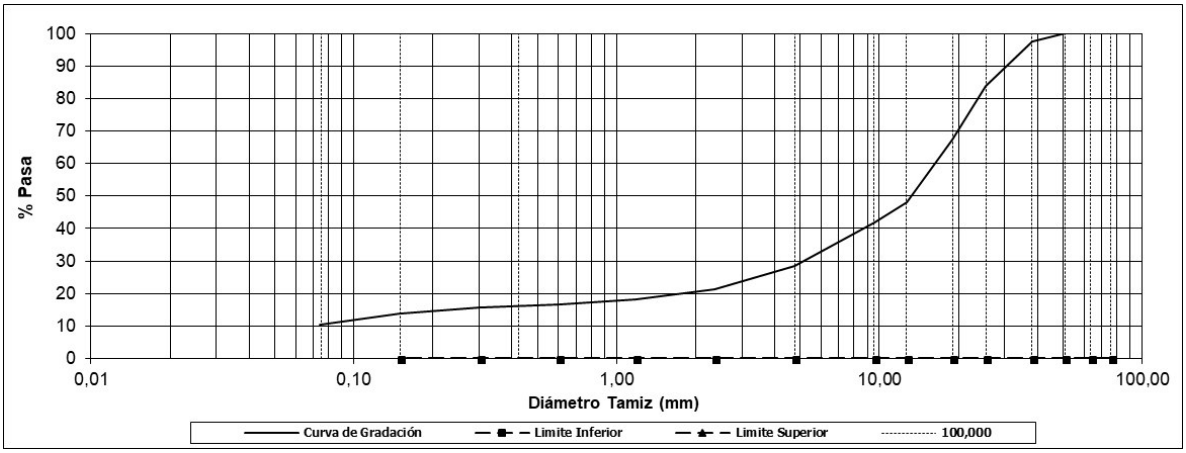


Tabla 221. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P044-3 Subbase granular clase peatonal

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)			
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA			
76,10	3	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
64,00	2½	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
50,80	2	0,0	0	0,0	100,0	±	14,2	*
38,10	1½	80,9	2	2,3	97,7	±	13,9	*
25,40	1	476,9	13,7	16,0	84,0	±	1,1	*
19,00	¾	581,3	16,7	32,7	67,3	±	0,9	*
12,70	½	666,7	19,1	51,8	48,2	±	0,9	*
9,530	⅜	218,3	6,3	58,1	41,9	±	0,8	*
4,760	No 4	464,2	13,3	71,4	28,6	±	0,4	*
2,360	No 8	253,7	7,3	78,7	21,3	±	0,3	*
1,2	No 16	108,3	3,1	81,8	18,2	±	0,3	*
0,6	No 30	50,4	1,4	83,3	16,7	±	0,2	*
0,3	No 50	36,8	1,1	84,3	15,7	±	0,2	*
0,2	No 100	69,0	2,0	86,3	13,7	±	0,2	*
0,1	No 200	118,2	3,4	89,7	10,3	±	0,1	*
FONDO		358,4	10,3	100	---			



La curva granulométrica de la muestra P044-3 se ajusta a la gradación especificada para una Subbase granular peatonal tipo SBG_PEA, quedando sus tamaños por dentro de la franja granulométrica especificada.

La curva granulométrica de la muestra P137-2 se ajusta a la gradación especificada para una Subbase granular tipo SB_Gr2, saliéndose en el límite superior por los tamices 1”, No. 50 y No. 70, indicando exceso de finos en estos tamaños; la ausencia de agregado grueso limita su resistencia al impacto y al desgaste, y de la arena fina limita el acuñamiento del

material grueso, perdiendo características funcionales de esta capa dentro de la estructura de pavimento. De acuerdo con lo anterior, esta podría ser una condición de rechazo del material.
La curva granulométrica de la muestra P035(2)-7 se ajusta a la gradación especificada para una Subbase granular tipo SB_Gr1, saliéndose en el límite superior por los tamices 1 ½", No. 20, No. 40 y No. 60, indicando exceso de finos en estos tamaños; la ausencia de agregado grueso limita su resistencia al impacto y al desgaste, y el exceso de arena fina contribuye al incremento en deformaciones plásticas, perdiendo características funcionales de esta capa dentro de la estructura de pavimento. De acuerdo a lo anterior, esto es una condición de rechazo del material.

La subbase granular Clase A (P044-1) presenta exceso de partículas gruesas en los tamices inferiores (No. 50, No. 100, y No. 200), no cumpliendo con la franja granulométrica especificada (SB_Gr2). El exceso de material fino en una subbase granular limita la función de drenaje de la capa, la cual requiere mayores vacíos para garantizar el drenaje de rápido de las capas superiores (p. ej. capas de base granular).

La curva granulométrica de la muestra P048(1)-1 se ajusta a la gradación especificada para una Subbase granular tipo SB_Gr2, quedando sus tamaños por dentro de la franja granulométrica especificada.

La curva granulométrica de la muestra P048(1)-6 se ajusta a la gradación especificada para una Subbase granular tipo SB_Gr2, quedando sus tamaños por dentro de la franja granulométrica especificada.

La curva granulométrica de la muestra P035(2)-3 se ajusta a la gradación especificada para una Subbase granular tipo BG_Gr2, saliéndose en el límite superior por los tamices No. 40 y No. 60, indicando exceso de finos en estos tamaños; el exceso de arena fina contribuye al incremento en deformaciones plásticas, perdiendo características funcionales de esta capa dentro de la estructura de pavimento. De acuerdo a lo anterior, esto es una condición de rechazo del material.

La curva granulométrica de la muestra P035(2)-5-6 se ajusta a la gradación especificada para una Subbase granular tipo BG_Gr1, saliéndose en el límite superior por el tamiz No. 60, indicando exceso de finos en este tamaño; el exceso de arena fina contribuye al incremento en deformaciones plásticas, perdiendo características funcionales de esta capa dentro de la estructura de pavimento. De acuerdo a lo anterior, esto es una condición de rechazo del material.

La base granular Clase A (P048(1)-2) tiene faltante de partículas gruesas en los tamices superiores (1" y ¾"); en el tamiz de 1" (25 mm), la gradación se sale de la franja

granulométrica especificada (BG_Gr1). Por otro lado, presenta exceso de partículas gruesas en los tamices intermedios (No. 4, No. 8, y No. 16); sin embargo, estos tamices se encuentran dentro de la franja granulométrica especificada. La ausencia de partículas gruesas en las capas de base granular generará que ésta pierda rigidez, ya que éstas suministran fricción y resistencia al impacto, perdiéndose la finalidad de esta capa dentro de la estructura de pavimento.

De acuerdo al análisis en la Ilustración 25. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Subbase granular tipo SB_Gr1 a la Ilustración 28. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Base granular tipo BG_Gr2, se concluye que las gradaciones para Base y Subbase granular se encuentran ajustadas a su máxima densificación, por lo que no se modificaron los valores especificados.

Se realizó una revisión de las gradaciones actuales para Subbases respecto a su máxima densificación utilizando la potencia 0.45 (ver Ilustración 25. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Subbase granular tipo SB_Gr1a lallustración 28. Curva de máxima densidad a una potencia de 0.45 para Base granular tipo BG_Gr2); de este análisis se concluye que las gradaciones se encuentran ajustadas a su máxima densificación, por lo que los valores especificados para este parámetro no fueron modificados en la actualización de las especificaciones

- Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 um (N° 200) en los agregados pétreos mediante lavado (**INV E-214-13**).

Este ensayo es complemento al ensayo “Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino” (INV E-213-13), por lo que sus resultados no están especificados.

- Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles (**INV E-218-13**).

Tabla 222. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-218-13 Desgaste LA (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P035(2)-3	1ro de mayo	41,00	-	35,00	No cumple
BG_A	P035(2)-5-6	Calle 94	29,00	-	35,00	Cumple
BG_A	P048(1)-2	Cali	27,00	-	35,00	Cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	33,00	-	40,00	Cumple
SBG_A	P035(2)-7	1ro de mayo	39,00	-	40,00	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-218-13 Desgaste LA (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	30,00	-	40,00	Cumple
SBG_A	P048(1)-1	Cali	28,00	-	40,00	Cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	35,00	-	40,00	Cumple
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	39,00	-	50,00	Cumple

La Base granular Clase A (P035(2)-3) fue la única muestra que no cumplió con el valor máximo especificado para el desgaste en la máquina de los Ángeles (41% de 35% máximo). Lo anterior es un indicador de rechazo del material. Las demás muestras ensayadas arrojaron valores por debajo de lo especificado, cumpliendo con este parámetro. Los valores especificados para este parámetro no fueron modificados en la actualización de las especificaciones.

- Solidez de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio - solidez (5 ciclos); aplica a granulares utilizados en la estabilizadas de las subrasantes (**INV E-220-13**).

Tabla 223. Resultados obtenidos del ensayo INV E 220-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13 Agregado Fino - Sulfato de Magnesio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P035(2)-3	1ro de mayo	6,65	-	18,00	Cumple
BG_A	P035(2)-5-6	Calle 94	7,65	-	18,00	Cumple
BG_A	P048(1)-2	Cali	3,24	-	18,00	Cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	5,38	-	18,00	Cumple
SBG_A	P035(2)-7	1ro de mayo	7,28	-	18,00	Cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	5,56	-	18,00	Cumple
SBG_A	P048(1)-1	Cali	3,92	-	18,00	Cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	5,46	-	18,00	Cumple
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	7,18	-	18,00	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13 Agregado Grueso - Sulfato de Magnesio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P035(2)-3	1ro de mayo	6,80	-	18,00	Cumple
BG_A	P035(2)-5-6	Calle 94	1,80	-	18,00	Cumple
BG_A	P048(1)-2	Cali	2,48	-	18,00	Cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	5,96	-	18,00	Cumple
SBG_A	P035(2)-7	1ro de mayo	3,90	-	18,00	Cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	2,38	-	18,00	Cumple
SBG_A	P048(1)-1	Cali	2,26	-	18,00	Cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	3,63	-	18,00	Cumple
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	2,66	-	18,00	Cumple

La naturaleza de este ensayo busca simular las condiciones y afectaciones de los materiales debido a los procesos de congelamiento y descongelamiento, que pueden inducir el fracturamiento de los agregados por expansión del agua congelada en las micro-fisuras; esta condición no es representativa para los materiales a utilizar en Bogotá por sus condiciones climáticas (esto aplica igualmente a todos los materiales a utilizarse en países tropicales).

Adicionalmente, es un ensayo que tiene mala repetitividad, y que se ha planteado por muchos autores[2] como no representativo para estimar las condiciones de desempeño en campo del material. Por lo anterior, este requisito se elimina de las especificaciones para Bases y Subbases granulares, más aún teniendo en cuenta que están especificados controles de dureza a partir de ensayos como el 10% finos, el Micro-Deval, y el desgaste en la máquina de los Ángeles, que tasan en una forma satisfactoria la durabilidad de los materiales.

Por otro lado, se indica que las muestras ensayadas cumplieron con lo especificado para este parámetro, tanto para el agregado fino como para el agregado grueso.

[2] Fowler D. W., Allen J. J., Lange A., Range P; International Center for aggregates research. The prediction of coarse aggregate performance by Micro-Deval and Soundness related aggregate tests. Research report ICAR 507-1F. 2006.

- Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino **(INV E-222-13)**.

Tabla 224. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-222-13 Densidad SH (kg/m³)	INV E-222-13 Densidad relativa SH (-)	INV E-222-13 Absorción (%)
		Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
P048(1)-2	Cali	2290,00	2,30	4,43
P048(1)-6	Cali	2090,00	2,10	8,01
P048(1)-1	Cali	2330,00	2,34	3,46
P137-2	Rincón Tabor	2290,00	2,30	3,78

Los resultados de este ensayo no se encuentran especificados en las Especificaciones IDU ET-2018.

- Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso **(INV E-223-13)**.

Tabla 225. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-223-13 Densidad SH (kg/m³)	INV E-223-13 Densidad relativa SH (-)	INV E-223-13 Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BG_A	P048(1)-2	Cali	2270,00	2,27	5,20
BG_C	P048(1)-6	Cali	2160,00	2,16	7,60
SBG_A	P048(1)-1	Cali	2270,00	2,28	5,30
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	2360,00	2,37	3,10

Los resultados de este ensayo no se encuentran especificados en las Especificaciones IDU ET-2018.

- Determinación del valor del 10% de finos **(INV E-224-13)**.

Tabla 226. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-224-13 10% de finos - Valor en seco (kN)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P048(1)-2	Cali	179,00	100,00	-	Cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	150,00	60,00	-	Cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	175,00	60,00	-	Cumple
SBG_A	P048(1)-1	Cali	187,00	60,00	-	Cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	171,00	100,00	-	Cumple
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	129,00	-	-	-

Las muestras ensayadas arrojaron valores por encima de lo especificado, cumpliendo con este parámetro. Es importante tener en cuenta que las partículas deben tener la resistencia suficiente para resistir la degradación o el fracturamiento durante la construcción, y bajo las cargas de compactación y del tráfico. Los valores especificados para este parámetro no fueron modificados en la actualización de las especificaciones

- Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso **(INV E-227-13.)**

Tabla 227. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-227-13 Caras fracturadas - 1 Cara (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P035(2)-3	1ro de mayo	100,00	100,00	-	Cumple
BG_A	P035(2)-5-6	Calle 94	100,00	100,00	-	Cumple
BG_A	P048(1)-2	Cali	100,00	100,00	-	Cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	100,00	60,00	-	Cumple
SBG_A	P035(2)-7	1ro de mayo	100,00	50,00	-	Cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	100,00	50,00	-	Cumple
SBG_A	P048(1)-1	Cali	100,00	50,00	-	Cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	100,00	-	-	-
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	100,00	-	-	-

Para las capas granulares de Base, se prefiere el uso de agregados angulares, casi equidimensionales con una textura de superficie rugosa, con el fin de asegurar un alto grado

de fricción interna y resistencia al deslizamiento del agregado. Por lo anterior, se incrementó el requisito de partículas fracturas para la Base granular Clase A, a 100% para 1 cara, y a 70% para 2 caras; los otros valores especificados no fueron modificados en la actualización de las especificaciones. Todos los materiales ensayados cumplen con este requisito.

Para las capas granulares de Base y Subbase, se prefiere el uso de agregados angulares, casi equidimensionales con una textura de superficie rugosa, con el fin de asegurar un alto grado de fricción interna y resistencia al deslizamiento del agregado. Teniendo en cuenta que la función de las capas de Subbase granular es ofrecer una transición entre la subrasante y la Base granular, se considera pertinente conservar el parámetro especificado para tránsitos altos (materiales Clase A); en este sentido se aclara que el Invías no especifica este parámetro para las capas de Subbase granular, y la FHWA sí especifica un valor mínimo de 50% tanto para Subbase como Base granular.

- Índices de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras (**INV E-230-13**).

Tabla 228. Resultados obtenidos del ensayo INV E 230-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-230-13 Índice de aplanamiento (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P048(1)-2	Cali	37,00	-	35,00	No cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	22,00	-	35,00	Cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	23,00	-	-	-
SBG_A	P048(1)-1	Cali	35,00	-	-	-
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	19,00	-	-	-

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-230-13 Índice de alargamiento (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P048(1)-2	Cali	16,00	-	35,00	Cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	7,00	-	35,00	Cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	26,00	-	-	-
SBG_A	P048(1)-1	Cali	17,00	-	-	-
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	21,00	-	-	-

Las especificaciones del IDU e Invías no contemplan la norma de ensayo INV E-240-13 (partículas planas y alargadas), para determinar la cantidad de partículas planas y alargadas en materiales para Bases y Subbases granulares; por otro lado, especificaciones

internacionales demandan en estos materiales, valores menores de 20% para una relación 1:3. Así las cosas, para evaluar el porcentaje de partículas Alargadas, Aplanadas, y Alargadas y Aplanadas, en estos materiales, se incorporó el requisito de "Proporción de las partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos" (**INV E-240-13**), para los materiales de Base granular, eliminándose el requisito de "Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras".

Sin embargo, se indica que la muestra P048(1)-2 no cumplió con el valor especificado para el índice de aplanamiento (37% de 35% máximo). Las partículas delgadas o planas y alargadas tienen una resistencia reducida cuando los esfuerzos actúan sobre el lado plano del agregado, o a través de su dimensión más corta, y también son propensas a la segregación y la ruptura durante la compactación, creando finos adicionales. Por lo anterior, el incumplimiento de este requisito es una condición de rechazo del material.

- Valor de azul de metileno en agregados finos (**INV E-235-13**).

Tabla 229. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-235-13 Azul de metileno (g/ml)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P035(2)-3	1ro de mayo	7,33	-	10,00	Cumple
BG_A	P035(2)-5-6	Calle 94	8,33	-	10,00	Cumple
BG_A	P048(1)-2	Cali	13,33	-	10,00	No cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	6,65	-	10,00	Cumple
SBG_A	P035(2)-7	1ro de mayo	8,29	-	10,00	Cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	7,29	-	10,00	Cumple
SBG_A	P048(1)-1	Cali	9,97	-	10,00	Cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	4,99	-	10,00	Cumple
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	8,98	-	-	-

La muestra P048(1)-2 no cumplió con este parámetro; Sin embargo, los valores obtenidos no resultan ser muy elevado para considerar presencia de minerales arcillosos 2:1 (como la Ilita o la Montmorillonita), cuyos valores en este ensayo son aproximadamente superiores a 20; así las cosas, no se considera un resultado crítico que indique rechazo del material por actividad.

El Invías sólo especifica este parámetro para las Bases granulares, teniendo el mismo valor que el IDU; por otro lado, es importante entender que la presencia de partículas finas puede reducir significativamente la resistencia a las cargas de los vehículos en las capas de Base y Subbase granular, por lo que se considera importante conservar el control sobre este parámetro. Por otro lado, no se debe rechazar un material considerando únicamente valores

de plasticidad, sino que el especialista debe realizar un análisis del desempeño del mismo. Los valores especificados para este parámetro no fueron modificados en la actualización de las especificaciones

- Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato desgaste utilizando el equipo Micro-Deval (**INV E-238-13**).

Tabla 230. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-238-13 Micro-Deval (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
BG_A	P035(2)-3	1ro de mayo	23,50	-	25,00	Cumple
BG_A	P035(2)-5-6	Calle 94	28,70	-	25,00	No cumple
BG_A	P048(1)-2	Cali	27,40	-	25,00	No cumple
BG_C	P048(1)-6	Cali	20,50	-	30,00	Cumple
SBG_A	P035(2)-7	1ro de mayo	22,70	-	30,00	Cumple
SBG_A	P044-1	Rincón Tabor	24,50	-	30,00	Cumple
SBG_A	P048(1)-1	Cali	27,90	-	30,00	Cumple
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	30,40	-	30,00	No cumple
SBG_PEA	P044-3	Rincón Tabor	35,50	-	-	-

Se incrementó el requisito de Micro Deval para la Base granular Clase A, a 25% (porcentaje máximo). Este parámetro estima la resistencia del agregado grueso a la abrasión y degradación mecánica durante la manipulación, construcción, y puesta en servicio de las capas conformadas.

Con este ajuste en la actualización de las especificaciones, cambió el cumplimiento para la muestra P035(2)-3 (BG_A); por otro lado, las muestras P035(2)-5-6 (BG_A, resultado 28.7%), y P048(1)-2 (BG_A, resultado 27.4%), no cumplieron con este requisito, lo cual sería indicio de rechazo de las mismas.

- Proporción de particulas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos (**INV E-240-13**).

Tabla 231. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos en obra

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas (%)	INV E-240-13 Particulas alargadas(%)	INV E-240-13 Particulas planas y alargadas(%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBG_C	P137-2	Rincón Tabor	0,00	0,00	0,00

La de Base granular obtuvo un valor de 0% para este parámetro. Las especificaciones del IDU e Invías no contempla este ensayo de laboratorio para determinar el porcentaje de partículas planas y alargadas, teniéndose en cuenta el ensayo en la norma INV E-230-13 para determinar los índices de alargamiento y aplanamiento. Especificaciones internacionales demandan, en materiales para Base y Subbase, valores menores de 20% para relaciones 1:3.

Los ensayos a las muestras P119-1 y P119-2 se realizaron con una relación ancho-espesor (partículas planas), y longitud-ancho (partículas alargadas), mayores a 5 (relación 1:5), la cual es mucho más crítica que para una relación 1:3, lográndose valores de 0%, lo que indica que este material es apto para ser utilizado como Subbase granular.

H.3.5.12 RAP

H.3.5.12.1 Material obtenido de plantas de almacenamiento

A continuación, se presenta el análisis de los resultados a los ensayos realizados a dos muestras de RAP (P108-1; P125-1); dado que las calidades de este tipo de material no están especificadas, se debe realizar un comentario general para su posible uso como material de aporte en Subbases granulares.

- Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado (**INV E-122-13**).

Tabla 232. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-122-13. Contenido de agua (%)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	0,2
RAP	P125-1	UMV	0,2

Los valores de contenido de humedad no son un parámetro especificado para los materiales granulares para bases y subbases. En campo, el valor de la humedad del material es un parámetro de control para la compactación de las capas de conformación de la estructura de pavimento, el cual debe ser contrastado con el valor de la humedad óptima (INV E-142-13).

- Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua (**INV E-128-13**).

Tabla 233. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-128-13 Gravedad Específica (-)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	2,38
RAP	P125-1	UMV	2,37

- Equivalente de arena de suelos y agregados finos (**INV E-133-13**).

Tabla 234. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-133-13 Equivalente de Arena (%)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	80
RAP	P125-1	UMV	--

La muestra ensayada P108-1 presenta un valor de equivalente de arena muy por encima al mínimo especificado que se actualizó para la Subbase granular (22%), lo cual hace que sea un material adecuado como adición para una Subbase granular.

- Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados (**INV E-211-13**).

Tabla 235. Resultados obtenidos del ensayo INV E 211-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-211-13 Terrones de arcilla y partículas deleznables (%)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	3,53
RAP	P125-1	UMV	0,88

De las dos muestras ensayadas, la muestra P108-1 no cumplió con el valor máximo especificado; sin embargo, considerando el porcentaje de aporte de este material a la fórmula de trabajo (aproximadamente 40%), el resultado del conjunto (mezcla granular virgen más MBR) podría cumplir con lo especificado para una Subbase granular.

- Presencia de impurezas orgánicas en arenas usadas para la preparación de morteros o concretos (**INV E 212-13**).

Tabla 236. Resultados obtenidos del ensayo INV E 212-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-212-13 Impurezas orgánicas en arenas usadas para la preparación de morteros o concretos (No #)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	4
RAP	P125-1	UMV	3

- Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino (**INV E 213-13**).

Tabla 237. Resultados del ensayo INV E 213-13, para la muestra P108-1

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)			
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA			
76,10	3	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
64,00	2½	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
50,80	2	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
38,10	1½	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0	*
25,40	1	166,2	2,6	2,6	97,4	±	1,3	*
19,00	¾	397,5	6,2	8,8	91,2	±	1,2	*
12,70	½	693,0	10,8	19,5	80,5	±	1,6	*
9,530	⅜	604,9	9,4	28,9	71,1	±	1,4	*
4,760	No 4	1448,9	22,5	51,4	48,6	±	0,7	*
2,360	No 8	914,2	14,2	65,6	34,4	±	0,5	*
1,2	No 16	550,8	8,6	74,2	25,8	±	0,4	*
0,6	No 30	492,8	7,7	81,9	18,1	±	0,3	*
0,3	No 50	542,0	8,4	90,3	9,7	±	0,1	*
0,2	No 100	299,4	4,7	94,9	5,1	±	0,1	*
0,1	No 200	125,5	2,0	96,9	3,1	±	0,0	*
FONDO		111,2	1,7	98,6	---			

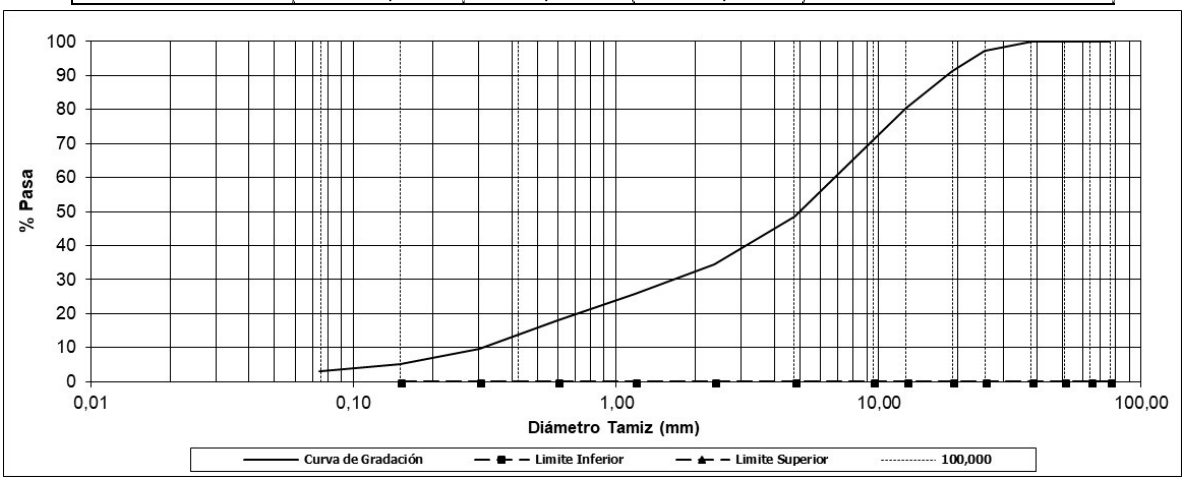
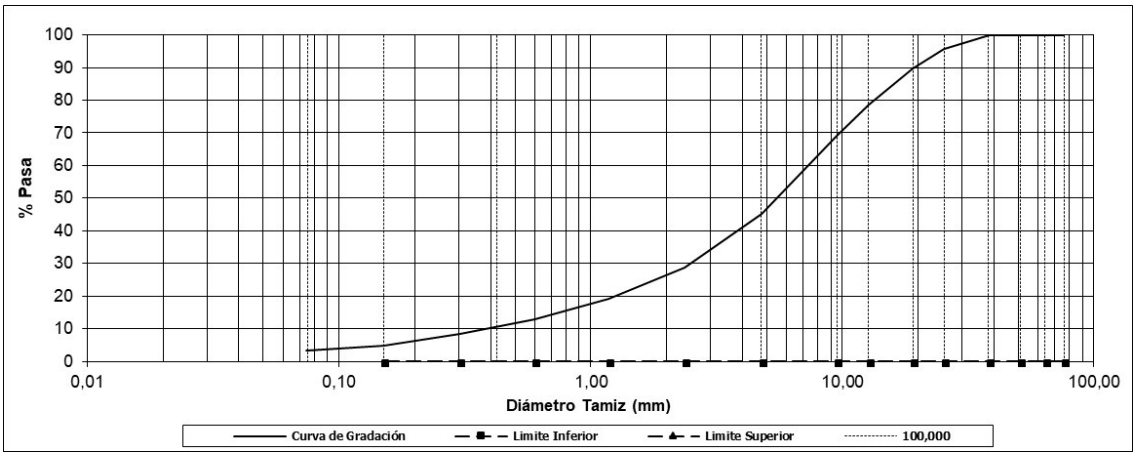


Tabla 238. Resultados del ensayo INV E 213-13, para la muestra P125-1

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA
76,10	3	0,0	0	0,0	100,0 ± 0,0 *
64,00	2½	0,0	0	0,0	100,0 ± 0,0 *
50,80	2	0,0	0	0,0	100,0 ± 0,0 *
38,10	1½	0,0	0	0,0	100,0 ± 0,0 *
25,40	1	519,8	4,3	4,3	95,7 ± 1,3 *
19,00	¾	702,0	5,9	10,2	89,8 ± 1,2 *
12,70	½	1349,6	11,3	21,5	78,5 ± 1,5 *
9,530	⅜	1122,4	9,4	30,9	69,1 ± 1,4 *
4,760	No 4	2866,9	24,0	54,8	45,2 ± 0,6 *
2,360	No 8	1970,5	16,5	71,3	28,7 ± 0,4 *
1,2	No 16	1133,5	9,5	80,7	19,3 ± 0,3 *
0,6	No 30	774,9	6,5	87,2	12,8 ± 0,2 *
0,3	No 50	519,9	4,3	91,6	8,4 ± 0,1 *
0,2	No 100	420,2	3,5	95,1	4,9 ± 0,1 *
0,1	No 200	184,7	1,5	96,6	3,4 ± 0,0 *
FONDO		404,7	3,4	100,0	---



- Resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (1/4") por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles (**INV E 218-13**).

Tabla 239. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-218-13 Desgaste LA (%)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	42
RAP	P125-1	UMV	36

De las dos muestras ensayadas, la muestra P108-1 no cumplió con el valor máximo especificado; sin embargo, considerando el porcentaje de aporte de este material a la fórmula de trabajo (aproximadamente 40%), el resultado del conjunto (mezcla granular virgen más MBR) podría cumplir con lo especificado para una Subbase granular.

- Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino (**INV E 222-13**).

Tabla 240. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-222-13 Densidad SH (kg/m³)	INV E-222-13 Densidad relativa SH (-)	INV E-222-13 Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	2210	2,22	1,07
RAP	P125-1	UMV	2140	2,15	3,03

- Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso (**INV E 223-13**).

Tabla 241. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-223-13 Densidad SH (kg/m³)	INV E-223-13 Densidad relativa SH (-)	INV E-223-13 Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	2170	2,17	2,2
RAP	P125-1	UMV	2010	2,02	8,6

- Determinación del valor del 10% de finos (**INV E 224-13**).

Tabla 242. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-224-13 10% de finos - Valor en seco (kN)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	73
RAP	P125-1	UMV	96

Las dos muestras ensayadas cumplen con lo especificado para una Subbase granular, en las tres clases de material, cumpliendo así con este parámetro. El resultado del conjunto (mezcla granular virgen más MBR) podría cumplir con lo especificado para una Subbase granular.

- Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso (**INV E 227-13**).

Tabla 243. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-227-13 Caras fracturadas - 1 Cara (%)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	100
RAP	P125-1	UMV	100

Las dos muestras ensayadas cumplen con lo especificado para una Subbase granular, en las tres clases de material, cumpliendo con este parámetro. El resultado del conjunto (mezcla granular virgen más MBR) podría cumplir con lo especificado para una Subbase granular.

- Valor de Azul de Metileno en agregados finos (**INV E 235-13**).

Tabla 244. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-235-13 Azul de metileno (g/ml)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	--
RAP	P125-1	UMV	1,66

De acuerdo con los valores obtenidos para este parámetro en las dos muestras, éstas cumplirían como material de Subbase granular.

- Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión utilizando el aparato Micro-Deval (**INV E-238-13**).

Tabla 245. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-238-13 Micro-Deval (%)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	30,6
RAP	P125-1	UMV	23,8

Las dos muestras ensayadas cumplen con lo especificado para una Subbase granular, en las tres clases de material, cumpliendo con este parámetro. El resultado del conjunto (mezcla granular virgen más MBR) podría cumplir con lo especificado para una Subbase granular. Este parámetro estima la resistencia del agregado grueso a la abrasión y degradación mecánica durante la manipulación, construcción, y puesta en servicio de las capas conformadas.

- Proporción de las partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos (**INV E-240-13**).

Tabla 246. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas (%)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	0
RAP	P125-1	UMV	0

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas alargadas(%)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	0
RAP	P125-1	UMV	0

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas y alargadas(%)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	0
RAP	P125-1	UMV	0

Las dos muestras ensayadas cumplen obtuvieron un valor de 0% para este parámetro. Las especificaciones del IDU e Invías no contempla este ensayo de laboratorio para determinar el porcentaje de partículas planas y alargadas, teniéndose en cuenta el ensayo en la norma INV E-230-13 para determinar los índices de alargamiento y aplanamiento. Especificaciones internacionales demandan, en materiales para Base y Subbase, valores menores de 20% para relaciones 1:3. Los ensayos a las muestras P108-1 y P125-1 se realizaron con una relación ancho-espesor (partículas planas), y longitud-ancho (partículas alargadas), mayores a 5 (relación 1:5), la cual es mucho más crítica que para una relación 1:3, lográndose valores de 0%, lo que indica que este material es apto para ser utilizado en Subbases granulares.

- Análisis fisicoquímico SPLP (**EPA SW-846 1312 Y S.M 3120 B**):

Tabla 247. Resultados obtenidos del ensayo EPA SW-846 1312 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	EPA SW-846 1312 Y S.M 3120 B Análisis fisicoquímico SPLP (mg/L)											
			Bario (Ba)	Cadmio (Cd)	Cromo (Cr)	Cobre (Cu)	Molibdeno (Mo)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Antimonio (Sb)	Zinc (Zn)	Mercurio (Hg)	Arsénico (As)	Selenio (Se)
RAP	P108-1	IDU	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
			<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
			<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
RAP	P125-1	UMV	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
			<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
			<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002

Tabla 248. Resultados obtenidos del ensayo EPA SW-846 1312 para el material agregados pétreos para bases y subbases obtenidos de RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	SPLP - Extracción de metales pesados (pH de la extracción)
			Resultados Obtenidos
RAP	P108-1	IDU	4,2
RAP	P125-1	UMV	4,2

H.3.5.13 AGREGADOS PÉTREOS DE SUBBASE ADICIONADA CON RAP

H.3.5.13.1 Material obtenido de proyectos en ejecución

A continuación, se presenta el análisis de los resultados realizados a la Subbase granular adicionada con RAP (P048(1)-4):

- Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición **(INV E 121-13).**

Tabla 249. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-121-13 Contenido orgánico (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	2,55	-	0,00	No cumple

La muestra no cumplió con lo especificado para el contenido de materia orgánica; al respecto, las especificaciones indican que las partículas de los agregados deben estar libres de materia orgánica u otras sustancias perjudiciales, lo cual pueda afectar su buen desempeño. Se aclara que, lo que se busca en estos materiales es que estén libres de material vegetal visible; en este caso, no es grave para estos materiales que tengan contenidos de materia orgánica por debajo de 2%, sin embargo el valor obtenido fue de 2.55%; en este tipo de materiales es necesario tener precaución, tanto en la caracterización del material para la fórmula de trabajo (MBR y granulares de aporte), como en los procesos constructivos, con el fin de controlar las calidades de los materiales y evitar contaminarlos en las actividades de disposición en obra y mezclado. Este material debe cumplir con los requisitos para Subbase granular; éste parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado (**INV E-122-13**).

Tabla 250. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-122-13 Humedad natural (%)
			Resultados Obtenidos
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	5,3

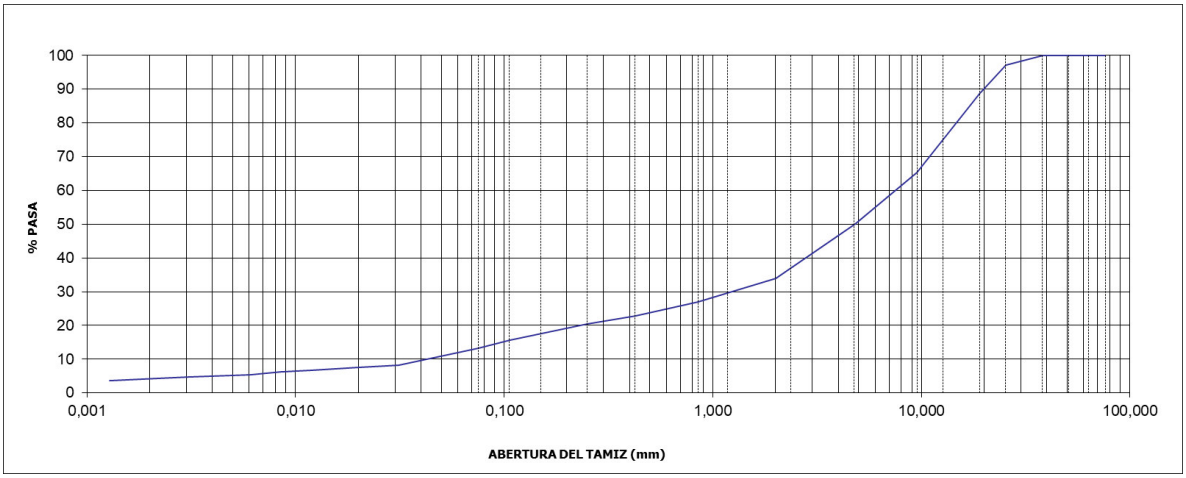
- Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por tamizado e hidrometría) (**INV E-123-13**).

Tabla 251. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P048(1)-4

TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
76,1	3"	100%	±	0,00%	*
64,0	2.5"	100%	±	0,00%	*
50,8	2"	100%		0,00%	*
38,1	1 1/2"	100%	±	0,00%	*
25,4	1"	97%	±	0,72%	*
19,0	3/4"	89%	±	0,86%	*
9,5	3/8"	65%	±	1,29%	*
4,8	No. 4	50%	±	1,16%	*
2,0	No. 10	34%	±	0,40%	*
0,9	No. 20	27%	±	0,49%	*
0,425	No. 40	23%	±	0,46%	*
0,250	No. 60	20%	±	0,43%	*
0,106	No. 140	16%	±	0,37%	*
0,075	No. 200	13%	±	0,44%	*

Análisis por Hidrómetro:		
Peso de la muestra seca al aire	115,3	(g)
Humedad higroscopica	0,60	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	114,7	(g)
Gravedad Específica de finos	2,595	(Gs)
Factor de Correción por Gs	1,012	(α)
Corrección por Defloculante	5,0	(g/l)

Análisis por Tamizado:		
Tamaño máximo	38,1	(mm)
Gravas	50	(%)
Arenas	37	(%)
Arena Gruesa	16	(%)
Arena Media	11	(%)
Arena Fina	10	(%)
Finos	13	(%)



- Límite líquido de los suelos (**INV E 125-13**):

Tabla 252. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-125-13 LL (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	21	-	25,00	Cumple

La muestra ensayada arrojó un valor por debajo del valor especificado, cumpliendo con este parámetro. El valor especificado está acorde con lo especificado para este material por el Invías y por la FHWA. Este material debe cumplir con los requisitos para Subbase granular; éste parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos (**INV E 126-13**):

Tabla 253. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-126-13 LP (%)	INV E-126-13 IP (%)			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	16	5	-	3,00	No cumple

La muestra ensayada indicó un Índice de Plasticidad por encima de lo especificado. Sin embargo, es importante observar que este resultado representa únicamente una fracción inferior al 20% del material. Adicionalmente, al revisar los valores de la expansión medidos en el ensayo de CBR para las tres probetas de cada muestra (condición más crítica posible del material), éstos son inferiores a 0.33%; lo anterior indica que, si se evaluara la actividad del material solo por este parámetro (IP), su valoración no sería representativa del comportamiento real del material.

Es importante resaltar que la presencia de partículas finas puede reducir significativamente la resistencia a las cargas de los vehículos en las capas granulares; por otro lado, no se debe rechazar un material considerando únicamente valores de plasticidad, sino que el especialista debe realizar un análisis del desempeño del mismo. En este tipo de materiales es necesario tener precaución, tanto en la caracterización del material para la fórmula de trabajo (MBR y granulares de aporte), como en los procesos constructivos, con el fin de controlar las calidades de los materiales y evitar contaminarlos en las actividades de disposición en obra y mezclado. Este material debe cumplir con los requisitos para Subbase granular; éste parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones

- Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua (**INV E-128-13**).

Tabla 254. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-128-13 Gravedad especifica Gs 20°C
			Resultados Obtenidos
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	2,595

- Equivalente de arena de suelos y agregados finos (**INV E-133-13**).

Tabla 255. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-133-13 Equivalente de arena (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	29	22,00	-	Cumple

La muestra ensayada cumple con lo mínimo especificado para una Subbase granular; éste parámetro fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación) (**INV E-142-13**).

Tabla 256. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-142-13 Densidad seca máxima (kN/m³)	INV E-142-13 Humedad óptima (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	20,1	7

- CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada (**INV E-148-13**).

Tabla 257. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Penetración al crítico (%)
			Resultados Obtenidos
SBG_A+ FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	44,00

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Expansión total (%; máximo de las tres probetas)
			Resultados Obtenidos
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	0,33

Este material debe cumplir con los requisitos para Subbase granular; debido a que se incorporó el requisito de Módulo Resiliente (**INV E-156-13**), para los materiales de Base y Subbase granular Clase A, el requisito de CBR se elimina para estos materiales.

- Módulo Resiliente de suelos y agregados (**INV E-156-13**).

Tabla 258. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-156-13 Módulo resiliente de suelos y agregados ($M_R=k_1\theta^{k2}$ MPa)						
			k_1	k_2	θ (kPa)	M_R (MPa)	Valor mín (MPa)	Valor máx (MPa)	Según Especificación 510-18
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	23,25	0,34	82,89	103,21	70,00	-	Cumple

La muestra ensayada cumple con el nuevo requisito de Módulo Resiliente especificado para una Subbase granular Clase A.

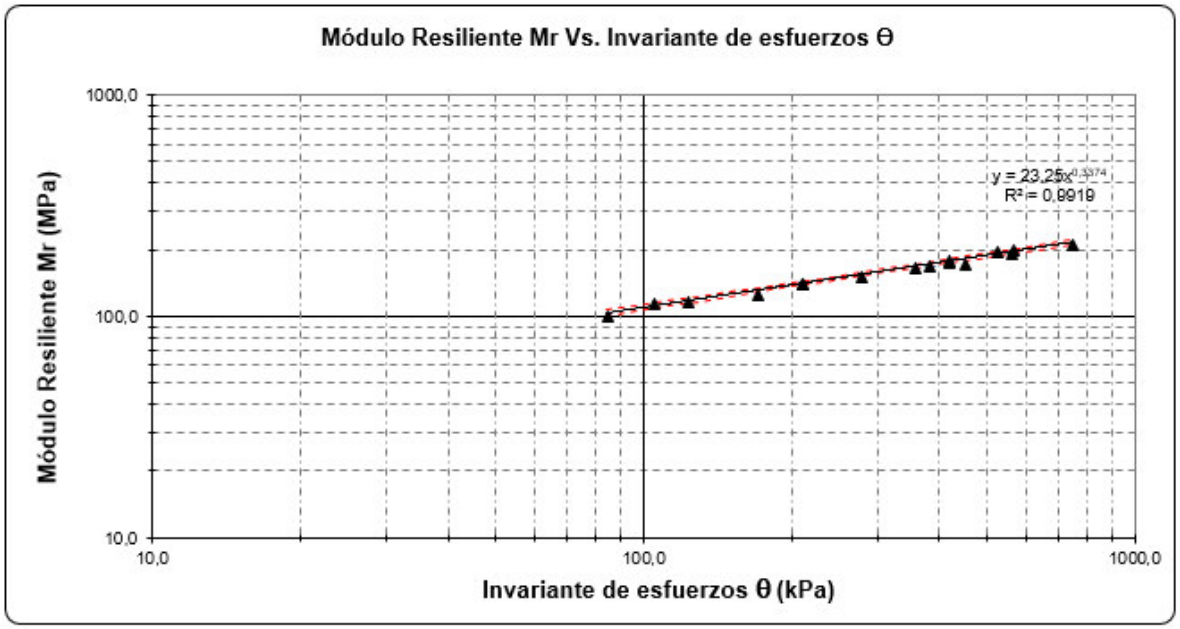


Ilustración 35. Resultados ensayo INV E 156-13

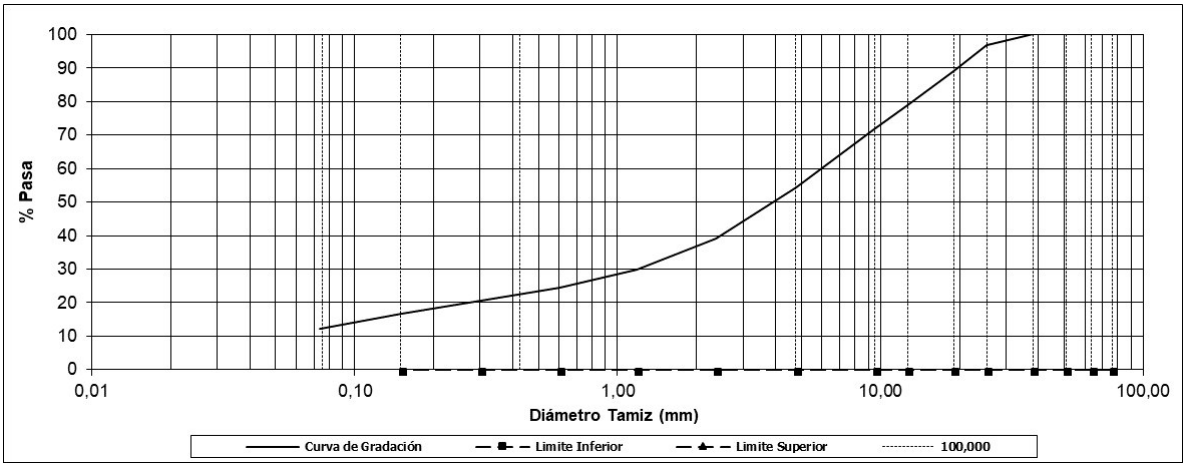
- Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (**INV E-213-13**).

Tabla 259. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-213-13 Curva Granulomética	
			Resultados Obtenidos	Según Especificación 510-18
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	Curva	No Cumple

Tabla 260. Resultados obtenidos del ensayo INV E 213-13 para la referencia P048(1)-4

ABER. DEL TAMIZ		MASA RETENIDA	(%)	(%)	(%)		
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	RET. ACUM.	PASA		
76,10	3	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0
64,00	2½	0,0	0	0,0	100,0	±	0,0
50,80	2	0,0	0	0,0	100,0	±	14,2
38,10	1½	0,0	0	0,0	100,0	±	14,2
25,40	1	190,1	3,3	3,3	96,7	±	1,3
19,00	¾	438,6	7,5	10,8	89,2	±	1,2
12,70	½	595,8	10,3	21,1	78,9	±	1,6
9,530	⅜	402,5	6,9	28,0	72,0	±	1,4
4,760	No 4	1019,1	17,5	45,5	54,5	±	0,8
2,360	No 8	889,0	15,3	60,8	39,2	±	0,5
1,2	No 16	539,1	9,3	70,1	29,9	±	0,4
0,6	No 30	314,6	5,4	75,5	24,5	±	0,3
0,3	No 50	220,2	3,8	79,3	20,7	±	0,3
0,2	No 100	240,9	4,1	83,5	16,5	±	0,2
0,1	No 200	249,9	4,3	87,8	12,2	±	0,2
FONDO		711,4	12,2	100	---		



La curva granulométrica se ajusta a la gradación especificada para una Subbase granular tipo SB_Gr2, saliéndose ligeramente en los tamices 1" y No. 50 en la franja superior. El ajuste de esta granulometría puede radicar en el posible diseño por gradación de la Subbase adicionada con MBR. La ausencia de partículas gruesas en las capas de Subbase granular generará que ésta pierda rigidez, y pierda su finalidad de capa de transición entre la subrasante y las capas superiores. Este material debe cumplir con los requisitos para Subbase granular; éste parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (1/4") por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles (**INV E 218-13**):

Tabla 261. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-218-13 Desgaste LA (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	35,00	-	40,00	Cumple

La muestra ensayada cumple con lo especificado para una Subbase granular. Es importante tener en cuenta que las partículas deben tener la resistencia suficiente para resistir la degradación o el fracturamiento durante la construcción, y bajo las cargas de compactación y del tráfico. Este material debe cumplir con los requisitos para Subbase granular; los valores especificados por el IDU para Subbases granulares son ligeramente más exigentes que los del Invías. Este parámetro no fue modificado para las Subbases granulares en la actualización de las especificaciones.

- Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio (**INV E-220-13**).

Tabla 262. Resultados obtenidos del ensayo INV E 220-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13 Agregado Fino - Sulfato de Magnesio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	17,60	-	18,00	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13 Agregado Grueso - Sulfato de Magnesio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	5,00	-	18,00	Cumple

La muestra ensayada cumplió con lo especificado para este parámetro, tanto para el agregado fino como para el agregado grueso; así las cosas, este material adicionado con MBR cumpliría como una Subbase granular.

Es importante aclarar que la naturaleza del ensayo busca simular las condiciones y afectaciones de los materiales debido a los procesos de congelamiento y descongelamiento, que pueden inducir el fracturamiento de los agregados por expansión del agua congelada en las micro-fisuras; esta condición no es representativa para los materiales a utilizar en Bogotá por sus condiciones climáticas (esto aplica igualmente a todos los materiales a utilizarse en países tropicales). Adicionalmente, es un ensayo que tiene mala repetitividad, y que se ha planteado por muchos autores[3] como no representativo para estimar las condiciones de desempeño en campo del material. Por lo anterior, este requisito se elimina de las especificaciones para Bases y Subbases granulares, más aún teniendo en cuenta que están especificados controles de dureza a partir de ensayos como el 10% finos, el Micro-Deval, y el desgaste en la máquina de los Ángeles, que tasan en una forma satisfactoria la durabilidad de los materiales.

[3] Fowler D. W., Allen J. J., Lange A., Range P; International Center for aggregates research. The prediction of coarse aggregate performance by Micro-Deval and Soundness related aggregate tests. Research report ICAR 507-1F. 2006.

- Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino **(INV E-222-13).**

Tabla 263. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-222-13 Densidad SH (kg/m³)	INV E-222-13 Densidad relativa SH (-)	INV E-222-13 Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	2230,00	2,24	3,58

- Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso **(INV E-223-13).**

Tabla 264. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-223-13 Densidad SH (kg/m³)	INV E-223-13 Densidad relativa SH (-)	INV E-223-13 Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	2260,00	2,26	4,10

- Determinación del valor del 10% de finos (**INV E 224-13**):

Tabla 265. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material Subbase granular adicionada con AP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-224-13 10% de finos - Valor en seco (kN)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	144,00	60,00	-	Cumple

La muestra ensayada cumple con lo especificado para una Subbase granular. Es importante tener en cuenta que las partículas deben tener la resistencia suficiente para resistir la degradación o el fracturamiento durante la construcción, y bajo las cargas de

compactación y del tráfico. Este parámetro no fue modificado para las Subbases granulares en la actualización de las especificaciones.

- Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso (**INV E 227-13**):

Tabla 266. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/Proveedor	INV E-227-13 Caras fracturadas - 1 Cara (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	100,00	50,00	-	Cumple

La muestra ensayada cumple con lo especificado para una Subbase granular, de acuerdo al valor mínimo especificado para porcentaje de caras fracturadas (1 cara). El ensayo se reporta para 1 cara; las especificaciones indican que, si no se especifica el número requerido de caras fracturadas, se realiza la determinación sobre la base de un mínimo de una cara fracturada, lo cual, en este caso, se considera como un parámetro general para cualquier tipo de gradación. Para las capas granulares de Subbase, se prefiere el uso de agregados angulares, casi equidimensionales con una textura de superficie rugosa, con el fin de asegurar un alto grado de fricción interna y resistencia al deslizamiento del agregado. Teniendo en cuenta que la función de las capas de Subbase granular es ofrecer una transición entre la subrasante y la Base granular, se considera pertinente conservar el parámetro especificado para tránsitos altos; en este sentido se aclara que el Invías no especifica este parámetro para las capas de Subbase granular, y la FHWA sí especifica un valor mínimo de 50% tanto para Subbase como Base granular. Este parámetro no fue modificado para las Subbases granulares en la actualización de las especificaciones.

- Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras (**INV E-230-13**):

Tabla 267. Resultados obtenidos del ensayo INV E 230-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-230-13 Índice de aplanamiento (%)	INV E-230-13 Índice de alargamiento (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	35,00	20,00

Este parámetro no está especificado para las Subbases granulares; sin embargo, sus resultados son adecuados, de acuerdo a lo especificado para una Base granular

- Valor de Azul de Metileno en agregados finos (**INV E 235-13**).

Tabla 268. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-235-13 Azul de metileno (g/ml)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	8,33	-	10,00	Cumple

La muestra ensayada cumple con lo especificado para una Subbase granular. El Invías no especifica este parámetro para las Subbases granulares; por otro lado, es importante entender que la presencia de partículas finas puede reducir significativamente la resistencia a las cargas de los vehículos en las capas de Base y Subbase granular, por lo que se considera importante conservar este parámetro especificado para estas últimas. Este parámetro no fue modificado para las Subbases granulares en la actualización de las especificaciones.

- Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión utilizando el aparato Micro-Deval (**INV E-238-13**).

Tabla 269. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-238-13 Micro-Deval (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	27,80	-	30,00	Cumple

La muestra ensayada cumple con lo especificado para una Subbase granular. Este parámetro estima la resistencia del agregado grueso a la abrasión y degradación mecánica durante la manipulación, construcción, y puesta en servicio de las capas conformadas. Este parámetro no fue modificado para las Subbases granulares en la actualización de las especificaciones.

- Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influenciado por la forma de las partículas, la textura superficial y la granulometría) (**INV E-239-13**).

Tabla 270. Resultados obtenidos del ensayo INV E 239-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP (obras en ejecución)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-239-13 Angularidad del agregado fino (%)
			Resultados Obtenidos
SBG_A+FRESADO	P048(1)-4	Av Bosa	45

No existe un valor especificado de Angularidad del agregado fino para una Subbase granular.

H.3.5.14 AGREGADOS PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

Con el fin de realizar un análisis riguroso de estos materiales, su cumplimiento respecto a las especificaciones se realizaró contrastando los resultados de laboratorio contra los valores especificado más críticos (tránsitos altos, capas de rodadura, mezclas de alto módulo); sin embargo, se indicaró si cumple para otra clase de tránsito, tipo de capa, o tipo de mezcla si alguno de ellos no cumplió bajo los parámetros iniciales.

H.3.5.14.1 Material obtenido de canteras

Las muestras ensayadas fueron: P047-1 (arena), P084-2 (arena), P084-6 (arena), P104-3 (arena), P104-4 (arena), P047-2 (grava), P047-3 (grava), P047-4 (grava), P084-1 (grava), P084-3 (grava), P084-4 (grava), P084-5 (grava), P104-1 (grava), y P104-2 (grava).

- Determinación del contenido orgánico en suelos mediante el ensayo de pérdida por ignición (**INV E 121-13**).

Tabla 271. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-121-13 Contenido orgánico (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
Arena	P047-1	Concrescol	0,57	-	0	No cumple
Arena	P084-6	CTU	0,33	-	0	No cumple
Arena	P104-4	ICM	0,35	-	0	No cumple

Las muestras no cumplieron con lo especificado para el contenido de materia orgánica; al respecto, las especificaciones indican que las partículas de los agregados deben estar libres de materia orgánica u otras sustancias perjudiciales, lo cual pueda afectar su buen desempeño. Los valores obtenidos para el contenido de materia orgánica (el valor máximo fue de 0.57%), son valores normales que se obtienen para los materiales granulares utilizados en Bogotá. Se aclara que, lo que se busca en estos materiales es que estén libres de material vegetal visible; en este caso, no es grave para estos materiales que tengan contenidos de materia orgánica por debajo de 1%. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones

- Límite líquido de los suelos (**INV E 125-13**):

Tabla 272. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-125-13 LL (%)
			Resultados Obtenidos
Arena	P047-1	Concrescol	0
Arena	P084-6	CTU	0
Arena	P104-4	ICM	0

Las tres arenas ensayadas (P047-1; P084-6; P104-4), arrojaron valores de No Líquido, cumpliendo con lo especificado. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos (**INV E 126-13**)

Tabla 273. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-126-13 LP (%)	INV E-126-13 IP (%)			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-11
Arena	P047-1	Concrescol	0	0	-	0	Cumple
Arena	P084-6	CTU	0	0	-	0	Cumple
Arena	P104-4	ICM	0	0	-	0	Cumple

Las tres arenas ensayadas (P047-1; P084-6; P104-4), arrojaron valores de No Plástico; igualmente, las tras arenas se encontraron como suelos No Plástico, dando cumplimiento a lo especificado. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Equivalente de arena de suelos y agregados finos (**INV E-133-13**):

Tabla 274. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-133-13 Equivalente de arena(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-11
Arena	P047-1	Concrescol	86	50	-	Cumple
Arena	P084-2	CTU	19	50	-	No cumple
Arena	P084-6	CTU	88	50	-	Cumple
Arena	P104-4	ICM	--	50	-	Cumple

De las cuatro arenas ensayadas, la única que no cumplió con el valor especificado fue la muestra P084-2; el valor logrado por esta muestra está muy por debajo del valor mínimo especificado, y único para todos los tránsitos. Es importante resaltar que el ensayo, por su naturaleza, mide únicamente fuerzas gravitacionales y no fuerzas eléctricas entre partículas finas, las cuales son las responsables de los fenómenos de la actividad, como sí lo hacen el ensayo de Azul de Metileno; como se mencionará más adelante, esta muestra cumple con lo especificado para el Azul de Metileno (INV E-235-13).

El exceso de polvo o partículas finas plásticas (partículas finas de arcilla), en el agregado para una mezcla asfáltica, puede contribuir a la falta de estabilidad (deformaciones permanentes), o daños por humedad y desprendimiento. Los valores especificados por el

IDU son bajos comparados con los especificados por el Invías y por la especificación española PG3, para estos materiales. Este parámetro se incrementó en la actualización de las especificaciones, a 50% para los tres niveles de tránsito.

- Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto (**INV E 217-13**).

Tabla 275. Resultados obtenidos del ensayo INV E 217-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-217-13 Densidad Bulk agregados (kg/m³)
			Resultados Obtenidos
Arena	P047-1	Concrescol	1417
Arena	P084-2	CTU	1631
Arena	P084-6	CTU	1732
Arena	P104-4	ICM	1584
Grava	P047-2	Concrescol	1429
Grava	P047-3	Concrescol	1455
Grava	P047-4	Concrescol	1415
Grava	P084-1	CTU	1247
Grava	P084-3	CTU	1446
Grava	P084-4	CTU	1251
Grava	P084-5	CTU	1438
Grava	P104-1	ICM	1237

Los resultados de estos ensayos se utilizan para diseño de mezclas, por lo que sus valores de cumplimiento no se encuentran especificados; por lo anterior no se presenta un análisis de resultados.

- Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles (**INV E-218-13**).

Tabla 276. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-218-13 Desgaste LA (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-11
Grava	P047-2	Concrescol	19	-	30	Cumple
Grava	P047-3	Concrescol	18	-	30	Cumple
Grava	P047-4	Concrescol	17	-	30	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-218-13 Desgaste LA (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-11
Grava	P084-1	CTU	27	-	30	Cumple
Grava	P084-3	CTU	17	-	30	Cumple
Grava	P084-4	CTU	26	-	30	Cumple
Grava	P084-5	CTU	19	-	30	Cumple
Grava	P104-1	ICM	29	-	30	Cumple
Grava	P104-2	ICM	23	-	30	Cumple

Todas las muestras ensayadas cumplieron con el valor máximo especificado para resistencia al desgaste en máquina de Los Ángeles. Es importante tener en cuenta que las partículas deben tener la resistencia suficiente para resistir la degradación o el fracturamiento durante la construcción, y bajo las cargas de compactación y del tráfico. Algunos de los valores especificados por el IDU son ligeramente más exigentes que los del Invías, otros son iguales. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Determinación del valor del 10% de finos **(INV E-224-13)**.

Tabla 277. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-224-13 10% de finos - Valor en seco (kN)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-11
Grava	P047-2	Concrescol	241	75	-	Cumple
Grava	P047-3	Concrescol	240	75	-	Cumple
Grava	P047-4	Concrescol	229	75	-	Cumple
Grava	P084-1	CTU	252	75	-	Cumple
Grava	P084-3	CTU	323	75	-	Cumple
Grava	P084-5	CTU	343	75	-	Cumple
Grava	P104-1	ICM	188	75	-	Cumple
Grava	P104-2	ICM	226	75	-	Cumple

Todas las muestras ensayadas cumplieron con el valor mínimo especificado para resistencia por ensayo 10% de finos. Es importante tener en cuenta que las partículas deben tener la resistencia suficiente para resistir la degradación o el fracturamiento durante

la construcción, y bajo las cargas de compactación y del tráfico. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso **(INV E-227-13.)**

Tabla 278. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-227-13 Caras fracturadas - 1 Cara (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-11
Grava	P047-2	Concrescol	93,2	90	-	Cumple
Grava	P047-3	Concrescol	96.4	90	-	Cumple
Grava	P047-4	Concrescol	97,6	90	-	Cumple
Grava	P084-1	CTU	100,0	90	-	Cumple
Grava	P084-3	CTU	100,0	90	-	Cumple
Grava	P084-5	CTU	100,0	90	-	Cumple
Grava	P104-1	ICM	100,0	90	-	Cumple
Grava	P104-2	ICM	100,0	90	-	Cumple

Todas las muestras ensayadas cumplieron con el valor mínimo especificado para porcentaje de caras fracturadas (1 cara). El ensayo se reporta para 1 cara; las especificaciones indican que, si no se especifica el número requerido de caras fracturadas, se realiza la determinación sobre la base de un mínimo de una cara fracturada, lo cual, en este caso, se considera como un parámetro general para cualquier tipo de mezcla. La Angularidad en el agregado grueso asegura un alto grado de fricción interna y resistencia al deslizamiento del mismo. Algunos de los valores especificados por el IDU son más exigentes que los del Invías, otros son iguales. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones

- Índices de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras (**INV E 230-13**).

Tabla 279. Resultados obtenidos del ensayo INV E 230-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-230-13 Índice de aplanamiento (%)			
			Resultados Obtenidos	Especificación min	Especificación máx	Según Especificación 510-18
Grava	P047-2	Concrescol	40,00	-	20,00	No cumple
Grava	P047-3	Concrescol	51,00	-	20,00	No cumple
Grava	P047-4	Concrescol	33,00	-	20,00	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-230-13 Índice de alargamiento (%)
			Resultados Obtenidos
Grava	P047-2	Concrescol	18,00
Grava	P047-3	Concrescol	9,00
Grava	P047-4	Concrescol	10,00

Ninguna de las tres gravas ensayadas (P047-2; P047-3; P047-4) cumplió con lo especificado para el índice de Aplanamiento. No es deseable la presencia de partículas aplanadas en la mezcla asfáltica, debido a que éstas tienden a fracturarse durante la compactación de la mezcla y por las cargas del tránsito. Los valores obtenidos para las tres muestras están muy por encima del valor mínimo especificado para tránsitos medios y bajos, lo que conduce a revaluar este material.

Por otro lado, las tres muestras cumplieron con lo indicado para el índice de Alargamiento. Las especificaciones del Invías y especificaciones internacionales contemplan la norma de ensayo INV E-240-13 (partículas planas y alargadas), para determinar la cantidad de partículas planas y alargadas en materiales para Bases y Subbases granulares. En la actualización de las especificaciones se eliminó el requisito para este parámetro por la norma de ensayo INV E-230-123 “Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras”, y se incorporó el requisito de “Proporción de las partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos” (**INV E-240-13**).

- Valor de azul de metileno en agregados finos (**INV E 235-13**).

Tabla 280. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-235-13 Azul de metileno (g/ml)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
Arena	P047-1	Concrescol	1,65	-	8,00	Cumple
Arena	P084-2	CTU	6,66	-	8,00	Cumple
Arena	P084-6	CTU	3,32	-	8,00	Cumple
Arena	P104-4	ICM	8,27	-	8,00	No cumple

La muestra P104-4 no cumplió con este parámetro; sin embargo, el valor obtenido (8.27 g/ml) no resulta ser muy elevado para considerar presencia de minerales arcillosos 2:1 (como la ilita o la montmorillonita), cuyos valores en este ensayo son aproximadamente superiores a 20; así las cosas, no se considera un resultado crítico que indique rechazo del material por actividad. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

El objeto del ensayo del azul de metileno es el de caracterizar la actividad y naturaleza de los finos contenidos en las arenas y gravas, y también para determinar la presencia de arcillas en los finos de tamaños inferiores a 400 micras, para su empleo en materiales de bases, subbases y mezclas. En el análisis que se hace, se indica que los materiales que no cumplieron con este requisito no presentan inconveniente para ser utilizados en materiales de Base y Subbase granular, ya que los valores obtenidos no son elevados para considerar presencia de minerales arcillosos 2:1 (como la Ilita o la Montmorillonita), cuyos valores en este ensayo son aproximadamente superiores a 20

- Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato desgaste utilizando el equipo Micro-Deval (**INV E-238-13**).

Tabla 281. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-238-13 Micro-Deval (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-11
Grava	P047-2	Concrescol	16,40	-	20,00	Cumple
Grava	P047-3	Concrescol	10,20	-	20,00	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-238-13 Micro-Deval (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-11
Grava	P047-4	Concrescol	12,80	-	20,00	Cumple
Grava	P084-4	CTU	7,70	-	20,00	Cumple
Grava	P084-5	CTU	9,00	-	20,00	Cumple
Grava	P104-1	ICM	28,30	-	20,00	No cumple
Grava	P104-2	ICM	22,30	-	20,00	No cumple

Dos gravas no cumplieron con este parámetro, las cuales corresponden a un mismo proveedor (P104-1; P104-2); una de ellas presentó un valor ligeramente superior a lo especificado, mientras que la otra presentó un valor un 40% por encima, y su resistencia al desgaste en la máquina de Los Ángeles está ligeramente por debajo del valor especificado. La muestra P104-1, no cumpliría para mezclas de alto módulo, y para capas de rodadura en tránsitos altos; la muestra P104-2, sólo cumpliría para capas de base e intermedia en tránsitos medios y bajos. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones

- Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influenciado por la forma de las partículas, la textura superficial y la granulometría) (**INV E-239-13**).

Tabla 282. Resultados obtenidos del ensayo INV E 239-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-239-13 Angularidad del agregado fino (%)			
			Resultados Obtenidos	Especificación min	Especificación máx	Según Especificación 510-18
Arena	P047-1	Concrescol	44,10	45,00	-	No cumple
Arena	P084-2	CTU	46,10	45,00	-	Cumple
Arena	P084-6	CTU	43,30	45,00	-	No cumple

Dos arenas no cumplieron con el valor mínimo especificado para Angularidad (P047-1; P084-2; P084-6); estas arenas cumplirían bajo el mínimo valor especificado (capas de Base, y capas Intermedias con tránsitos medios y bajos). Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Proporción de particulas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos (**INV E-240-13**).

Tabla 283. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
Grava	P047-2	Concrescol	0	-	10	Cumple
Grava	P047-3	Concrescol	0	-	10	Cumple
Grava	P047-4	Concrescol	0	-	10	Cumple
Grava	P084-1	CTU	0	-	10	Cumple
Grava	P084-3	CTU	0	-	10	Cumple
Grava	P084-5	CTU	0	-	10	Cumple
Grava	P104-1	ICM	0	-	10	Cumple
Grava	P104-2	ICM	0	-	10	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas alargadas (%)
			Resultados Obtenidos
Grava	P047-2	Concrescol	0
Grava	P047-3	Concrescol	0
Grava	P047-4	Concrescol	0
Grava	P084-1	CTU	0
Grava	P084-3	CTU	0
Grava	P084-5	CTU	0
Grava	P104-1	ICM	0
Grava	P104-2	ICM	0

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas y alargadas(%)
			Resultados Obtenidos
Grava	P047-2	Concrescol	0
Grava	P047-3	Concrescol	0
Grava	P047-4	Concrescol	0
Grava	P084-1	CTU	0

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas y alargadas(%)
			Resultados Obtenidos
Grava	P084-3	CTU	0,0
Grava	P084-5	CTU	0,0
Grava	P104-1	ICM	0,7
Grava	P104-2	ICM	2,5

Las muestras P084-1, P084-3 y P084-5, obtuvieron un valor de 0% para este parámetro. Las especificaciones actuales del IDU no contempla este ensayo de laboratorio para determinar el porcentaje de partículas planas y alargadas, en agregados para mezclas asfálticas. El Invías y especificaciones internacionales demandan en estos materiales valores menores de 10% para relaciones 1:5. En la actualización de las especificaciones se incorporó este este ensayo (INV E-240) para granulares a utilizarse en mezclas asfálticas con un valor máximo de 10% (se cambió por el ensayo INV E-230).

- Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (Método Riedel - Weber) **(INV E 774-13)**

Tabla 284. Resultados obtenidos del ensayo INV E 774-13 para el material agregados pétreos para mezclas asfálticas

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-774-13 Riedel-Weber			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-11
Arena	P047-1	Concrescol	10,00	4,00	-	Cumple
Arena	P084-6	CTU	10,00	4,00	-	Cumple
Arena	P104-4	ICM	10,00	4,00	-	Cumple

El IDU no específica este ensayo para determinar la adhesividad del ligante asfáltico a un agregado fino (arena), el cual si es especificado por el Invías (4% mínimo); los agregados ensayados cumplen este requisito a la luz de las especificaciones del Invías. En la actualización de las nuevas especificaciones se incluyó este requisito, con el fin de garantizar que los agregados pétreos a utilizarse en la mezcla asfáltica sean afines con los ligantes asfálticos, lo que aportaría al buen desempeño de las mezclas asfálticas.

H.3.5.15 AGREGADOS RECICLADOS OBTENIDOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Los agregados reciclados AR producto de la valorización de residuos de construcción y demolición RCD, pueden contener distintos materiales como concreto, agregados naturales, materiales cerámicos (ladrillos en su mayoría), asfalto, vidrio, plástico, madera, acero; sin embargo según la separación en la fuente y su tratamiento en la planta de producción de AR pueden encontrarse por separado, permitiendo mayores cantidades de uno u otro componente, se considera que un agregado reciclado tiene composición única cuando el elemento predominante comprende más de 95% del total del material producido. Esta investigación se enfoco en el uso de agregados mixtos definidos como la mezcla de los materiales antes mencionados en diferentes proporciones.

Con el propósito de caracterizar los agregados reciclados, y teniendo en cuenta la heterogeneidad de los agregados reciclados mixtos, se estableció un procedimiento sistemático de recogida y preparación de muestras como base fundamental para la investigación del material, intentando reducir incertidumbres asociadas a esta primera parte del proceso experimental y, por ende, poder obtener resultados de caracterización significativos. La toma de muestras se realizó por técnicos de la Pontificia Universidad Javeriana PUJ, siempre acompañados del Ingeniero de laboratorio de la PUJ quienes realizaron la toma de muestras, conservación y transporte de los agregados reciclados siguiendo el protocolo establecido en la norma INV 201-13 Muestreo de agregados para construcción de carreteras.

En este estudio se obtuvieron agregados reciclados de tres plantas inscritas en el directorio ambiental de proveerdores del IDU y se definieron 3 temporalidades entre mayo de 2017 y marzo de 2018 para la toma de muestras, intentando evaluar así la variabilidad del material en el tiempo. Las tres plantas de tratamiento fijas se encuentran en locaciones aledañas a Bogotá D.C y surten sus productos a los trabajos que se desarrollan en esta ciudad. Estas cuentan con sistemas de limpieza, separación de materiales férreos, trituración primaria y secundaria y clasificación.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos sobre los agregados reciclados producto de la valorización de Residuos de Construcción y Demolición RCD, que involucro la realización de 1774 ensayos de laboratorio para este proyecto y que serán agrupados según sus propiedades geométricas, físicas, químicas, mecánicas y ambientales.

- Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición **(INV E-121-13)**

Tabla 285. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-121-13 Contenido orgánico (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según GEAR en rellenos
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	2,75	-	1	No cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	2,75	-	1	No cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	2,78	-	1	No cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	16,21	-	1	No cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	2,94	-	1	No cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	3,35	-	1	No cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	3,55	-	2	No cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	2,96	-	2	No cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	3,75	-	2	No cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	0,76	-	2	Cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	3,24	-	2	No cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	3,27	-	2	No cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	6,00	-	2	No cumple
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	3,27	-	1	No cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	3,41	-	1	No cumple
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	3,53	-	1	No cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	4,07	-	1	No cumple

Tabla 286. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-121-13 Contenido orgánico (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según GEAR en rellenos
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	2,05	-	1	No cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	1,96	-	1	No cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	2,16	-	1	No cumple
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	4,86	-	1	No cumple
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	4,90	-	1	No cumple
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	4,89	-	1	No cumple
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	1,00	-	2	Cumple
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	0,90	-	2	Cumple
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	1,00	-	2	Cumple
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	4,66	-	2	No cumple
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	4,80	-	2	No cumple
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	4,72	-	2	No cumple
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	5,99	-	2	No cumple
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	5,59	-	2	No cumple
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	5,93	-	2	No cumple
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	2,59	-	2	No cumple
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	2,75	-	2	No cumple
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	2,63	-	2	No cumple

Tabla 287. Resultados obtenidos del ensayo INV E 121-13 para el material residuos de construcción y demoliciónTercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-121-13 Contenido orgánico (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según GEAR en rellenos
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	2,60	-	1	No cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	2,77	-	1	No cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	2,70	-	1	No cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	2,15	-	1	No cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	2,09	-	1	No cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	2,15	-	1	No cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	4,17	-	2	No cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	4,29	-	2	No cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	4,36	-	2	No cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	3,41	-	2	No cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	4,15	-	2	No cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	3,40	-	2	No cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	1,10	-	2	Cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	1,10	-	2	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	1,10	-	2	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	5,24	-	2	No cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	5,25	-	2	No cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	5,20	-	2	No cumple

Los ensayos de Materia Orgánica según la INV E 121-13 sobre muestras de agregado reciclado, mostraron variabilidad según la temporalidad donde se hayan obtenido (Ilustración 36), encontrándose resultados muy altos en el caso de la primera temporalidad, debido a una muestra que presento un contenido en materia orgánica de 16% y que fue

tomada en obra, lo que evidencia la necesidad de mejorar las practicas en la obra, para no contaminar los materiales.

El agregado reciclado contiene algo de materia orgánica debido a su mismo origen (RCD) y las impurezas que pueden estar presentes (madera, plástico, papel), pero es importante establecer límites, de ahí la importancia revisar la composición de estos agregados.

En general se puede decir que se obtuvieron valores medios por encima del 2%, encontrándose la mayoría entre 2% y 5%. Al repecto se puede decir que este es un tema ampliamente discutido en la bibliografía, teniendo en cuenta que algunos autores cuestionan hasta el tipo de ensayo, que en nuestro caso lo evaluamos con el mismo que actualmente se pide para los agregados naturales (ignición). Se encuentran en la bibliografía resultados de ensayos con la norma UNE 103204 (NLT-118) donde la materia orgánica se determina mediante una disolución de permanganato de potasio, donde se encuentran los reportes con valores mas bajos dentro de la bibliografía, recomendando valores de hasta 1% en el marco normativo, sin embargo algunos autores consideran que este ensayo no es adecuado para productos secundarios (reciclados) recuperados de residuos industriales como es el caso, por lo que recomiendadn ensayos donde se evalue la materia orgánica mediante procesos de ignición (500°C) una técnica que arroja valores más elevados, de hasta 4.4%, menores que los obtenidos en esta consultoria. Sin embargo, la bibliografía también establece que el ensayo por ignición puede afectar no solo la materia orgánica, sino que también fases minerales presentes en los agregados reciclados (yeso, tobermorita, portlandita o asfalto según las proporciones), lo cual es muy válido.

Las investigaciones en el marco internacional sobre la mejor manera de determinar el contenido de materia orgánica en los AR, deben continuar, teniendo en cuenta que algunos investigadores concluyen que los ensayos mencionados no logran arrojar valores adecuados para los agregados reciclados, por lo que desde la bibliografía se han complementado los ensayos con análisis térmico diferencial (DTA) y análisis por Difracción de rayos X (XRD), que permitirán evaluar cuales son los compuestos que se están quemando en el ensayo de ignición. Finalmente, algunos autores concluyen, que la determinación del contenido de impurezas orgánicas debe enfocarse a los resultados del ensayo para los componentes especificados en la norma EN 933-11, el cual se ha limitado en la Especificación 511-18 y 513-18 en máximo 1% para plástico, madera y otros (X) y hasta 2 cm^3/kg para las partículas flotantes (FL).

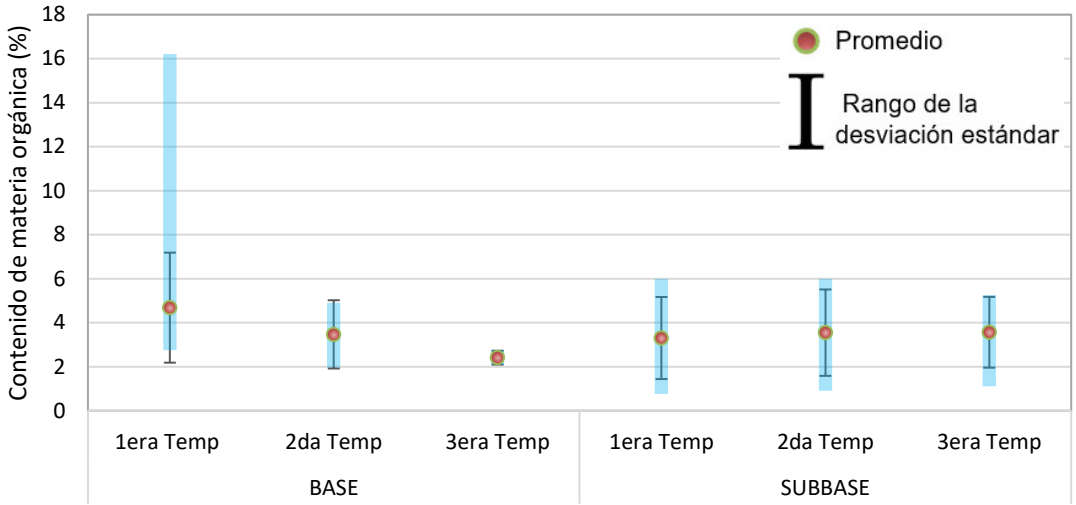


Ilustración 36. Resultados del componente contra materia orgánica.

- Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado **(INV E-122-13)**

Tabla 288. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-122-13 Humedad natural (%)
			Resultados Obtenidos
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	4,0
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	4,1
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	3,9
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	9,0
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	6,2
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	7,1
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	5,7
SBGA	P148-1	Ciclomat	1,2
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	7,8
SBGC+RCD	P035(2)-4	1ra de Mayo	7,2

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-122-13 Humedad natural (%)
			Resultados Obtenidos
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	7,5
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	10,1
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	6,6
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	2,2
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	5,0
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	4,2
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	12,4
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	10,0

Tabla 289. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-122-13 Humedad natural (%)
			Resultados Obtenidos
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	6,9
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	5,9
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	5,7
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	3,7
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	2,6
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	1,8
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	20,2
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	19,9
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	21,7
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	5,6
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	5,9

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-122-13 Humedad natural (%)
			Resultados Obtenidos
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	4,7
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	1,8
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	1,3
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	1,6
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	-
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	-
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	-

Tabla 290. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-122-13 Humedad natural (%)
			Resultados Obtenidos
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	6,4
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	6,6
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	6,5
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	7,2
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	7,3
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	7,3
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	8,8
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	9,0
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	9,2
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	8,7
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	7,8
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	8,8
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	20,7

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-122-13 Humedad natural (%)
			Resultados Obtenidos
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	20,7
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	20,7
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	7,6
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	7,4
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	7,3

Los valores de contenido de humedad no son un parámetro especificado para los materiales granulares reciclados usados para bases y subbases. En campo, el valor de la humedad del material es un parámetro de control para la compactación de las capas de conformación de la estructura de pavimento, el cual debe ser contrastado con el valor de la humedad óptima (INV E-142-13), y teniendo en cuenta los mayores valores de absorción que presentan estos agregagados reciclados, se recomienda en la especificación que los agregados prensenten una humedad cercana a la humedad optima, previo al momento de la compactación. Sobre los resultados obtenidos se puede decir que siempre dependen de las condiciones en que se encuentra el agregado (al ambiente, cubierto, condiciones climáticas), los agregados ensayados obtuvieron en promedio 7,9 % con valores entre 1,2% y 21,7% sin embargo, algunos valores obtenidos no se recomendarían (mayores a 12%) ya que tendrían agua en exceso, estando sobre saturados.

- Determinación del límite líquido de los suelos **(INV E-125-13)**

Tabla 291. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-125-13. LL(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	NL	-	25	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	NL	-	25	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	NL	-	25	Cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	24	-	25	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-125-13. LL(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	31	-	25	No cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	31	-	25	No cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	24	-	25	Cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	23	-	25	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	32	-	25	No cumple
SBGC+RCD	P035(2)-4	1ra de Mayo	20	-	25	Cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	20	-	25	Cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	23	-	25	Cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	23	-	25	Cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	22	-	25	Cumple
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	24	-	25	Cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	29	-	25	No cumple
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	25	-	25	Cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	23	-	25	Cumple

Tabla 292. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-125-13. LL(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	NL	-	25	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	NL	-	25	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	NL	-	25	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-125-13. LL(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	23	-	25	Cumple
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	24	-	25	Cumple
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	22	-	25	Cumple
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	NL	-	25	Cumple
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	NL	-	25	Cumple
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	NL	-	25	Cumple
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	27	-	25	No cumple
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	26	-	25	No cumple
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	24	-	25	Cumple
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	17	-	25	Cumple
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	21	-	25	Cumple
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	20	-	25	Cumple
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	NL	-	25	Cumple
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	NL	-	25	Cumple
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	NL	-	25	Cumple

Tabla 293. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-125-13. LL(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	23	-	25	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	23	-	25	Cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	23	-	25	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	NL	-	25	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	NL	-	25	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	NL	-	25	Cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	26	-	25	No cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	26	-	25	No cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	26	-	25	No cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	NL	-	25	Cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	NL	-	25	Cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	NL	-	25	Cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	NL	-	25	Cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	NL	-	25	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	NL	-	25	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	19	-	25	Cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	19	-	25	Cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	20	-	25	Cumple

En general las muestras arrojaron valores por debajo de lo especificado, un 17% de las muestras presentaron valores superiores a 25, incumpliendo este parámetro. El valor especificado está acorde con lo especificado para este material por el Invías y por la FHWA

y en las regulaciones internacionesles no se piden valores direfentres a los solicitados para agregado natural virgen.

- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad para suelos **(INV E-126-13)**

Tabla 294. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-126-13. LP (%)	INV E-126-13. IP (%)			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	NP	-	-	NP	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	NP	-	-	NP	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	NP	-	-	NP	Cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	15	9	-	NP	No cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	27	3	-	NP	No cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	15	16	-	6	No cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	21	3	-	3	Cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	22	1	-	3	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	30	2	-	3	Cumple
SBGC+RCD	P035(2)-4	1ra de Mayo	14	6	-	3	No cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	17	3	-	3	Cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	22	2	-	3	Cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	21	2	-	3	Cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	18	4	-	3	No cumple
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	19	5	-	NP	No cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	14	14	-	NP	No cumple
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	23	2	-	NP	No cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	23	0	-	NP	No cumple

Tabla 295. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-126-13. LP (%)	INV E-126-13. IP (%)			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	NP	-	-	NP	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	NP	-	-	NP	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	NP	-	-	NP	Cumple
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	19	4	-	NP	No cumple
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	21	3	-	NP	No cumple
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	18	4	-	NP	No cumple
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	NP	0	-	3	Cumple
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	NP	0	-	3	Cumple
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	NP	0	-	3	Cumple
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	16	11	-	3	No cumple
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	14	12	-	3	No cumple
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	13	11	-	3	No cumple
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	13	4	-	3	No cumple
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	13	8	-	3	No cumple
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	15	5	-	3	No cumple
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	NP	0	-	3	Cumple
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	NP	0	-	3	Cumple
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	NP	0	-	3	Cumple

Tabla 296. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-126-13. LP (%)	INV E-126-13. IP (%)			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	19	4	-	NP	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	19	4	-	NP	Cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	19	4	-	NP	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	NP	-	-	NP	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	NP	-	-	NP	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	NP	-	-	NP	Cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	19	7	-	3	No cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	19	7	-	3	No cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	19	7	-	3	No cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	NP	0	-	3	Cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	NP	0	-	3	Cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	NP	0	-	3	Cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	NP	0	-	3	Cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	NP	0	-	3	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	NP	0	-	3	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	15	4	-	3	No cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	13	6	-	3	No cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	14	6	-	3	No cumple

De un total de 54 muestras de agregados reciclados ensayadas frente a plasticidad, se encontró que el 39% resultaron no plásticas, el 44% reporto un Índice de Plasticidad con valores entre 1 y 6 y el 17% reporto un Índice de Plasticidad con valores entre 7 y 16. Para

estos materiales se esperan valores menores de 3 (no plástico, deseable), por lo que es importante no mezclar los RCD con tierras de excavación en ningún punto del proceso.

- Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua **(INV E-128-13)**

Tabla 297. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-128-13 Gravedad especifica Gs 20°C
			Resultados Obtenidos
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	3,565
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	2,639
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	2,587
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	2,604
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	2,639
SBGC+RCD	P035(2)-4	1ra de Mayo	2,579
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	2,543
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	2,617
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	2,625
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	2,463
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	2,595
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	2,565
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	2,629
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	2,607

Tabla 298. Resultados obtenidos del ensayo INV E 128-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	INV E-128-13 Gravedad especifica Gs 20°C
		Resultados Obtenidos
BGA	P133-1_1	2,569
BGA	P133-1_2	2,558
BGA	P133-1_3	2,566
SBGA	P133-2_1	2,553
SBGA	P133-2_2	2,536
SBGA	P133-2_3	2,537
SBGC	P133-3_1	2,501
SBGC	P133-3_2	2,502
SBGC	P133-3_3	2,497

Respecto a los resultados, se obtuvo un valor medio de 2,61, con una desviación de 0,218, con valores entre 2,46 y 2,64, se excluye del análisis el valor de 3,565 debido a que no es un valor lógico para este tipo de material, que en general presenta valores menores que para los agregados naturales vírgenes. No se suelen especificar requerimientos al respecto en normativa o recomendaciones internacionales.

- Equivalente de arena de suelos y agregados finos **(INV E-133-13)**

Tabla 299. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-133-13. Equivalente de arena(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	37	30	-	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	38	30	-	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	37	30	-	Cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	18	30	-	No cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	76	30	-	Cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	164	30	-	Cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	68	22	-	Cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	53	22	-	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	57	22	-	Cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	24	22	-	Cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	62	22	-	Cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	60	22	-	Cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	76	22	-	Cumple
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	64	30	-	Cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	24	30	-	Cumple
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	69	18	-	Cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	65	18	-	Cumple

Tabla 300. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	INV E-133-13. Equivalente de arena(%)			
		Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	35	30	-	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	33	30	-	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	35	30	-	Cumple
BGA	P133-1_1	61	30	-	Cumple
BGA	P133-1_2	72	30	-	Cumple
BGA	P133-1_3	66	30	-	Cumple
SBGA	P022-1_1	21	22	-	No cumple
SBGA	P022-1_2	21	22	-	No cumple
SBGA	P022-1_3	21	22	-	No cumple
SBGA	P133-2_1	47	22	-	Cumple
SBGA	P133-2_2	40	22	-	Cumple
SBGA	P133-2_3	39	22	-	Cumple
SBGC	P133-3_1	67	22	-	Cumple
SBGC	P133-3_2	68	22	-	Cumple
SBGC	P133-3_3	60	22	-	Cumple
SBGC	P148-2_1	62	22	-	Cumple
SBGC	P148-2_2	63	22	-	Cumple
SBGC	P148-2_3	60	22	-	Cumple

Tabla 301. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-133-13. Equivalente de arena(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	66	30	-	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	65	30	-	Cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	68	30	-	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	34	30	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-133-13. Equivalente de arena(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	33	30	-	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	35	30	-	Cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	60	22	-	Cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	60	22	-	Cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	60	22	-	Cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	31	22	-	Cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	29	22	-	Cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	29	22	-	Cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	21	22	-	No cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	21	22	-	No cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	22	22	-	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	88	22	-	Cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	90	22	-	Cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	88	22	-	Cumple

Al revisar los valores obtenidos de equivalente de arena, se encuentran valores entre 18% y 90%, agrupados por rangos, como se puede observar en la Ilustración 37, la mayoría den los resultados se encuentra en valores de más de 45%.

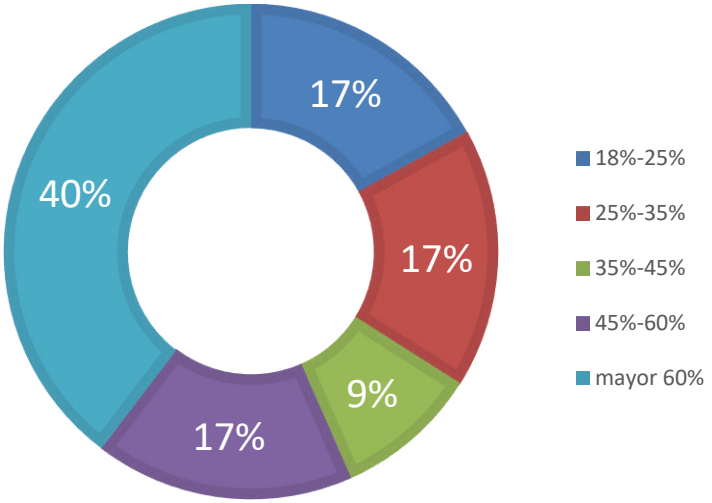


Ilustración 37 Porcentaje de muestras de agregados reciclados con rango de valores de equivalente de arena.

- Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación) **(INV E-142-13)**

Tabla 302. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-142-13 Peso unitario optimo (KN/m3)	INV E-142-13 Humedad optima (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	19,11	10,5
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	18,86	10,4
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	18,88	10,7
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	19,84	9,0
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	18,40	14,1
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	19,61	8,8
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	18,85	12,2
SBGA	P148-1	Ciclomat	18,22	13,8
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	17,94	12,4
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	19,21	8,8
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	18,10	13,0
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	18,03	12,4
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	19,59	7,0

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-142-13 Peso unitario optimo (KN/m3)	INV E-142-13 Humedad optima (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	19,28	10,4
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	20,00	8,0
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	17,49	15,0
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	18,47	11,6

Tabla 303. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	INV E-142-13 Peso unitario optimo (KN/m3)	INV E-142-13 Humedad optima (%)
		Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	17,73	14,0
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	17,39	14,1
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	16,10	13,9
BGA	P133-1_1	18,90	11,0
BGA	P133-1_2	18,60	11,0
BGA	P133-1_3	18,68	11,0
SBGA	P022-1_1	17,93	13,8
SBGA	P022-1_2	17,96	14,6
SBGA	P022-1_3	17,90	14,4
SBGA	P133-2_1	19,45	8,5
SBGA	P133-2_2	19,32	8,4
SBGA	P133-2_3	19,65	8,0
SBGC	P133-3_1	19,54	7,9
SBGC	P133-3_2	19,67	7,9
SBGC	P133-3_3	19,21	8,0
SBGC	P148-2_1	18,12	13,5
SBGC	P148-2_2	18,18	13,3
SBGC	P148-2_3	18,18	13,3

Tabla 304. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-142-13 Peso unitario optimo (KN/m3)	INV E-142-13 Humedad optima (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	19,02	11,0
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	18,78	12,2
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	19,02	11,5
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	17,74	12,7
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	15,25	14,8
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	18,13	12,8
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	18,60	11,3
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	18,55	11,2
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	18,60	10,9
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	17,24	13,5
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	17,30	15,4
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	17,78	14,3
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	17,97	13,7
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	17,94	13,4
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	17,88	13,4
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	19,29	7,0
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	19,31	7,3
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	19,20	7,6

En general se han obtenido valores de humedad optima entre 7 % y 15%, valores mayores que para un agregado natural y peso unitario optimo menor entre 17 kN/m^3 y 20 kN/m^3. La tendencia es similar independientemente de la temporalidad y estas características están ligadas a la composición de los agregados.

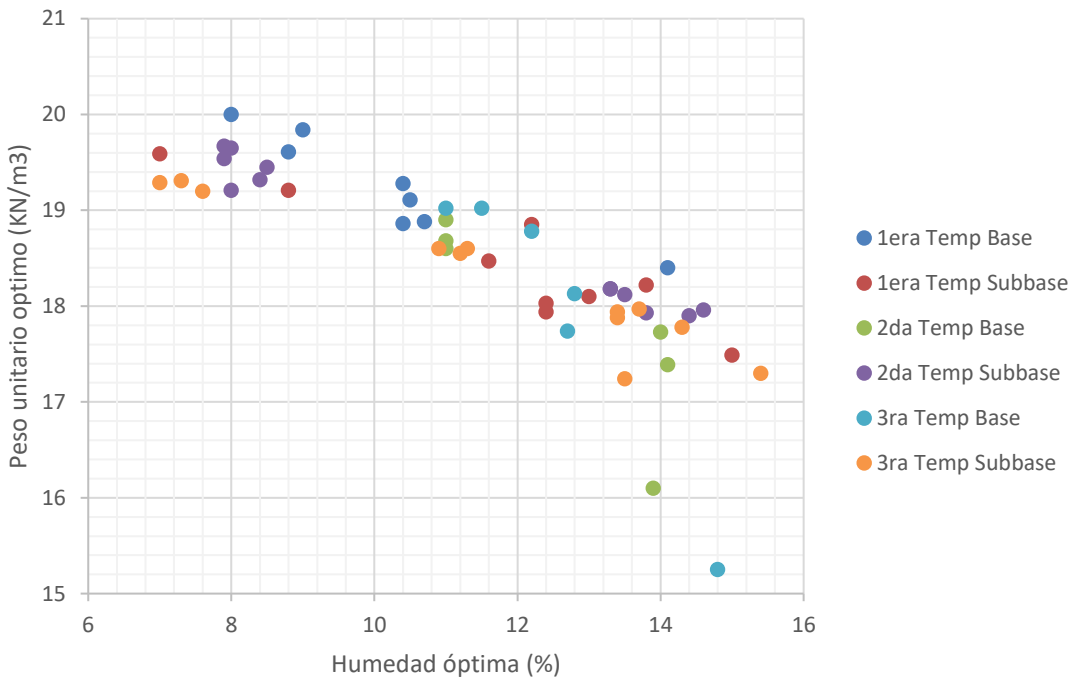


Ilustración 38. Resultados reportados en el ensayo INV E 142-18 Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación) para bases y Subbases en las tres temporalidades.

- CBR de los suelos compactados en el laboratorio **(INV E-148-13)**

Tabla 305. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Penetración al crítico (%)			
			Resultados Obtenidos	% referido gd_max	Valor min	Según Especificación 511-18
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	63	100	90	No cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	66	100	90	No cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	60	100	90	No cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	92	100	90	Cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	166	100	90	Cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	144	100	90	Cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	116	100	60	Cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	175	100	60	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	112	100	60	Cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	89	100	60	Cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	84	100	60	Cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	135	100	60	Cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	81	100	60	Cumple
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	112	100	90	Cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	275	100	90	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Penetración al crítico (%)			
			Resultados Obtenidos	% referido gd_max	Valor min	Según Especificación 511-18
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	96	100	30	Cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	112	100	30	Cumple

Tabla 306. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Penetración al crítico (%)			
			Resultados Obtenidos	% referido gd_max	Valor min	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	44	100	90	No cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	47	100	90	No cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	56	100	90	No cumple
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	148	100	90	Cumple
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	222	100	90	Cumple
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	140	100	90	Cumple
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	212	100	60	Cumple
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	226	100	60	Cumple
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	242	100	60	Cumple
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	197	100	60	Cumple
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	118	100	60	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Penetración al crítico (%)			
			Resultados Obtenidos	% referido gd_max	Valor min	Según Especificación 511-18
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	299	100	60	Cumple
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	85	100	60	Cumple
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	98	100	60	Cumple
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	82	100	60	Cumple
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	293	100	60	Cumple
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	189	100	60	Cumple
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	198	100	60	Cumple

Tabla 307. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Penetración al crítico (%)			
			Resultados Obtenidos	% referido gd_max	Valor min	Según Especificación 511-18
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	249	100	90	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	265	100	90	Cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	325	100	90	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	82	100	90	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Penetración al crítico (%)			
			Resultados Obtenidos	% referido gd_max	Valor min	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	49	100	90	No cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	68	100	90	No cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	270	100	60	Cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	203	100	60	Cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	370	100	60	Cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	64	100	60	Cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	53	100	60	No cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	39	100	60	No cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	235	100	60	Cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	270	100	60	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	220	100	60	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	212	100	60	Cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	76	100	60	Cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	152	100	60	Cumple

Aunque se ha constatado desde la bibliografía y de manera experimental en este proyecto, que los agregados reciclados AR producto de Residuos de Construcción y Demolición

(RCD) no cumplen con todo lo exigido a un agregado natural, se ha observado en ensayos que el material en conjunto con la humedad y compactación necesarias, puede alcanzar los niveles de calidad exigidos en el proyecto, por lo tanto, el uso de agregados reciclados AR puede enfocarse a garantizar la calidad final de la obra teniendo en cuenta que el AR mixto muestra ganancia de capacidad portante, medida a través de su **índice de CBR**, como consecuencia de las posibles reacciones hidráulicas y/o puzolánicas entre las diferentes fases minerales que constituyen este tipo de material granular. Se debe aclarar que no fue parte del alcance de este trabajo el análisis o la evaluación de las fases minerales formadas en este nuevo material. El índice de CBR realizado bajo la norma de ensayo INV E-148-13 resulta ser en promedio 146% con valores desde 73,8% hasta 242,7% como se observa en la Ilustración 39.

El agregado reciclado mixto manifiesta ganancia de capacidad portante, medida a través de su índice CBR, como consecuencia de reacciones hidráulicas y/o puzolánicas entre las diferentes fases minerales constitutivas de este tipo de material granular.

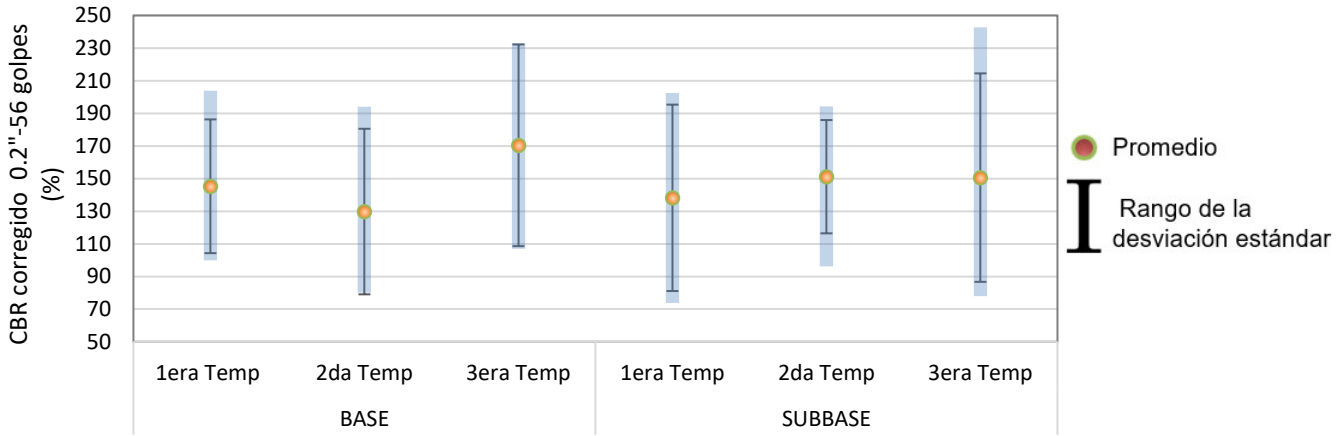


Ilustración 39. Valores de CBR, por temporalidad y clasificación del material.

Inicialmente podría pensarse que índices de CBR altos se corresponden con bajos coeficientes de desgaste Los Ángeles, sin embargo, no se observa una tendencia clara y esta relación no se cumple en todos los casos. El 92% de los ensayos de CBR realizados con agregados reciclados cumple con los límites establecidos en las especificaciones vigentes por lo que, en principio, se debe optar por mantener dichos límites.

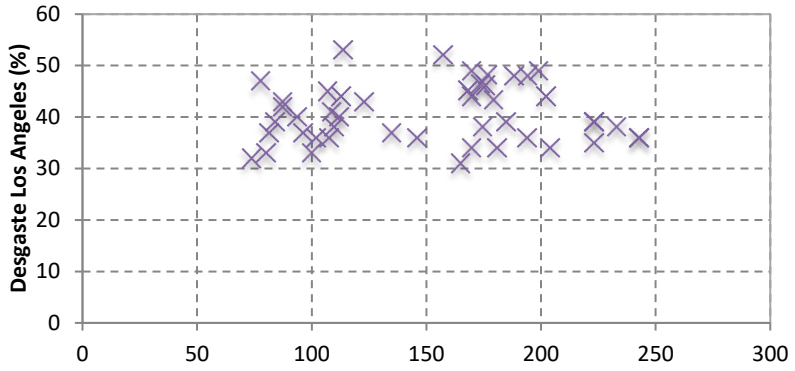


Ilustración 40. Valores de CBR y Desgaste de Los Angeles.

- Módulo Resiliente de suelos y agregados **(INV E-156-13)**

Tabla 308. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-156-13 Modulo Resiliente Módulo resiliente de suelos y agregados ($M_R=k_1\theta^{k2}$ MPa)			
			k_1	k_2	θ (kPa)	M_R (MPa)
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	18,41	0,360	207,8	125,81
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	13,91	0,403	207,0	119,28

Tabla 309. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-156-13 Modulo Resiliente Módulo resiliente de suelos y agregados ($M_R=k_1\theta^{k2}$ MPa)			
			k_1	k_2	θ (kPa)	M_R (MPa)
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	11,751	0,404	209,1	101,49
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	13,719	0,383	211,3	106,37
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	17,763	0,376	205,1	131,68
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	20,614	0,355	205,2	136,53
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	10,173	0,435	82,1	69,34
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	21,353	0,330	83,6	86,88
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	22,846	0,337	81,9	95,55

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-156-13 Modulo Resiliente Módulo resiliente de suelos y agregados ($M_R=k_1\theta^{k2}$ MPa)			
			k_1	k_2	θ (kPa)	M_R (MPa)
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	70,186	0,189	83,6	156,400
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	16,985	0,391	82,5	89,433
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	24,045	0,345	83,3	104,088
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	13,995	0,386	82,8	72,233
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	9,751	0,443	82,4	63,928

Tabla 310. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-156-13 Modulo Resiliente Módulo resiliente de suelos y agregados ($M_R=k_1\theta^{k2}$ MPa)			
			k_1	k_2	θ (kPa)	M_R (MPa)
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	17,566	0,380	210,0	134,004
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	23,390	0,347	208,9	149,456
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	29,469	0,273	207,6	126,123
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	14,218	0,383	208,4	109,602
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	53,136	0,226	83,4	144,146
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	34,603	0,289	82,4	124,046
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	14,374	0,393	82,9	81,505
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	14,746	0,378	83,2	78,257
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	15,702	0,380	83,0	84,105
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	20,628	0,337	83,3	91,724
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	21,886	0,356	83,5	105,845
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	93,287	0,170	82,7	197,169

Se obtuvieron los Módulos resilientes para bases y subbases, teniendo en cuenta un Θ (la suma de los esfuerzos principales) de 100 y 70 respectivamente. Los resultados se

encuentran entre 64 kN y 192 kN, como se observa en la Ilustración 41, con un promedio de 97kN con desviación de 28,6kN.

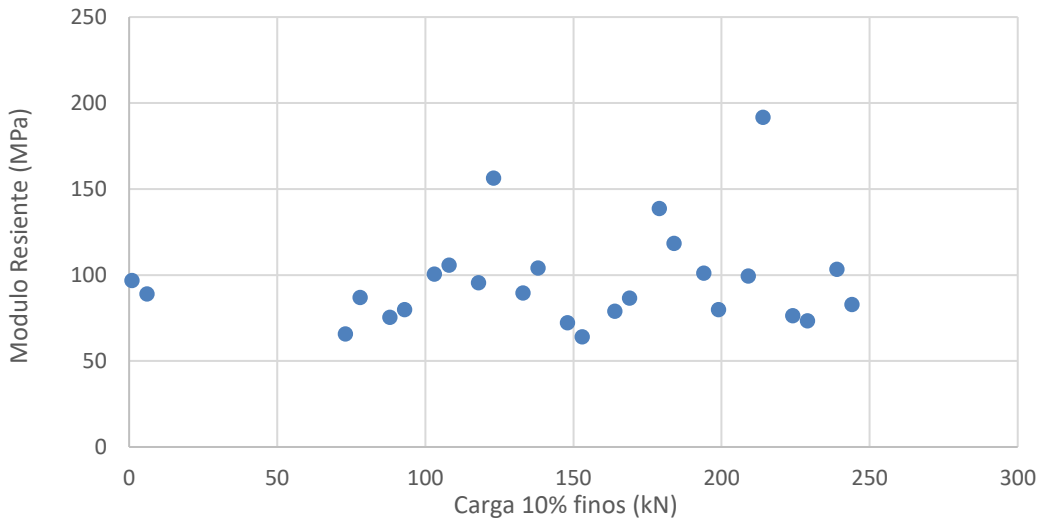


Ilustración 41. Modulo Resiliente con Θ de 100 y 70 para los agregados reciclados de bases y subbases en todas las temporalidades.

Continuando en la revisión de los resultados obtenidos en los agregados para los ensayos de 10% de finos (INV 224-13) y Módulo resiliente (INV 156-13) máximo, se observan unos valores más alejados de la nube de puntos, marcados con un círculo rojo en la Ilustración 42; estos valores corresponden a muestras con altas cantidades de agregado natural (> 75%) que permiten obtener valores de 180kN para el 10% de finos y muestras con altas cantidades de agregados con asfalto (>40%) que presentan 310 MPa para el módulo resiliente.

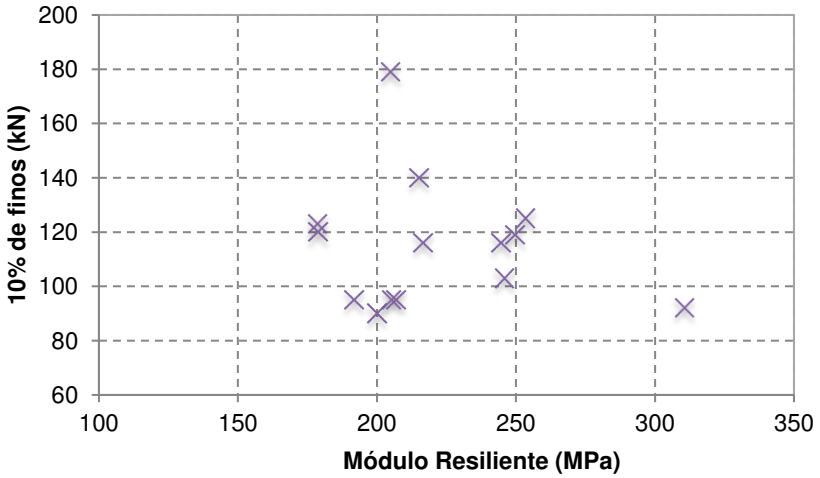


Ilustración 42. Resultados de Modulo Resiliente máximo respecto a la carga obtenida para un 10% de finos.

La fracción cerámica parece gobernar el desgaste del agregado reciclado mixto. Sin embargo, la generación de mayor cantidad de finos cerámicos constituye un efecto favorable en el proceso de consolidación del material granular, puesto que las partículas finas de naturaleza cerámica inducen, en presencia de agua, reacciones puzolánicas con el hidróxido cálcico del concreto.

- Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados (INV E-211-13)

Tabla 311. Resultados obtenidos del ensayo INV E 211-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-211-13. Terrones(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	1,20	-	2	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	0,72	-	2	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	0,60	-	2	Cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	0,32	-	2	Cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	11,91	-	2	No cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	0,92	-	2	Cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	1,33	-	2	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	0,72	-	2	Cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	1,22	-	2	Cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	0,40	-	2	Cumple
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	0,95	-	2	Cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	4,08	-	2	No cumple
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	4,17	-	2	No cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	1,45	-	2	Cumple

Tabla 312. Resultados obtenidos del ensayo INV E 211-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	INV E-211-13. Terrones(%)			
		Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	1,34	-	2	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	1,62	-	2	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	0,54	-	2	Cumple
BGA	P133-1_1	0,84	-	2	Cumple
BGA	P133-1_2	0,75	-	2	Cumple
BGA	P133-1_3	0,88	-	2	Cumple
SBGA	P022-1_1	0,04	-	2	Cumple
SBGA	P022-1_2	0,04	-	2	Cumple
SBGA	P022-1_3	0,03	-	2	Cumple
SBGA	P133-2_1	5,77	-	2	No cumple
SBGA	P133-2_2	9,42	-	2	No cumple
SBGA	P133-2_3	5,24	-	2	No cumple
SBGC	P133-3_1	0,21	-	2	Cumple
SBGC	P133-3_2	0,21	-	2	Cumple
SBGC	P133-3_3	0,18	-	2	Cumple
SBGC	P148-2_1	2,79	-	2	No cumple
SBGC	P148-2_2	2,79	-	2	No cumple
SBGC	P148-2_3	2,73	-	2	No cumple

Tabla 313. Resultados obtenidos del ensayo INV E 211-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-211-13. Terrones(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	1,49	-	2	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	1,49	-	2	Cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	1,51	-	2	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	0,74	-	2	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	1,36	-	2	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-211-13. Terrones(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	0,42	-	2	Cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	1,37	-	2	Cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	1,45	-	2	Cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	0,71	-	2	Cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	0,52	-	2	Cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	0,46	-	2	Cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	1,74	-	2	Cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	0,14	-	2	Cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	0,10	-	2	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	0,09	-	2	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	0,58	-	2	Cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	0,62	-	2	Cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	0,62	-	2	Cumple

Las muestras arrojaron un valor promedio de 1,6% por debajo de lo especificado (2%), el 82% de las muestras ensayadas cumplió con este parámetro. Es deseable que los materiales que conforman las capas granulares esten libres de arcilla o cualquier otra sustancia que afecte su buen desempeño. Los valores especificados para este parámetro son iguales a los considerados para agregados naturales vírgenes.

- Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino (INV E-213-13)

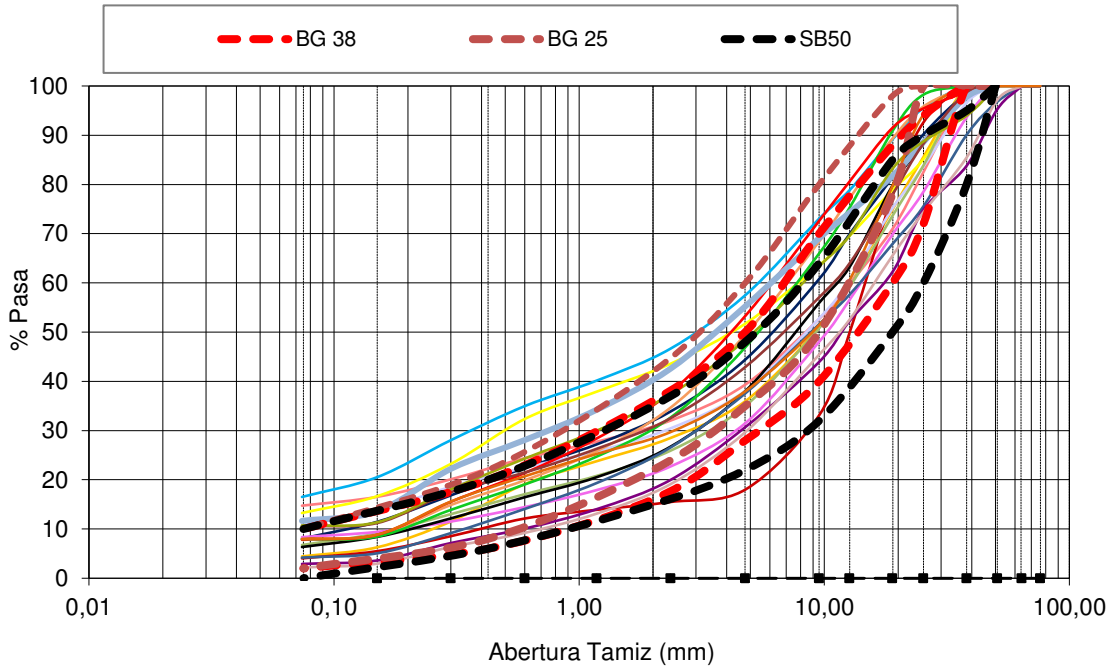


Ilustración 43. Curvas granulometricas de las muestras analizadas

Para evaluar la granulometría de los agregados reciclados se siguió la norma de ensayo INV-E 213, como se muestra en la Ilustración 46, se presentan los resultados obtenidos en el análisis de los agregados reciclados, donde se observan las curvas granulométricas continuas que fueron obtenidas para los diferentes agregados reciclados y los husos granulométricos definidos para las Bases y Subbases (BG38, BG25, SB50) en la actualización de la especificación. Se puede decir que los agregados reciclados pueden ajustarse sin problema a los husos granulométricos que determine la especificación.

- Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 um (N° 200) en los agregados pétreos mediante lavado (INV E-214-13)

Tabla 314. Resultados obtenidos del ensayo INV E 214-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/Proveedor	INV E-214-13 Curva granulométrica			
			% Pasante tamiz de 75 µm (No 200)	Valor mín (%)	Valor máx (%)	Según especificación 510-18
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	7,60	2	10	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	6,60	2	10	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	6,60	2	10	Cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	16,51	2	10	No cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	6,34	2	10	Cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	21,93	2	10	No cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	6,75	0	10	Cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	7,97	0	10	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	4,04	0	10	Cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	14,74	0	10	No cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	4,43	0	10	Cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	19,26	0	10	No cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	8,35	0	10	Cumple
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	8,05	2	10	Cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	10,76	2	10	No cumple
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	10,08	-	-	-
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	7,98	-	-	-

Tabla 315. Resultados obtenidos del ensayo INV E 214-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/Proveedor	INV E-214-13 Curva granulométrica			
			% Pasante tamiz de 75 µm (No 200)	Valor mín (%)	Valor máx (%)	Según especificación 510-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	7,00	2	10	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	6,50	2	10	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	6,70	2	10	Cumple
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	7,78	2	10	Cumple
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	7,91	2	10	Cumple
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	7,88	2	10	Cumple
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	9,10	0	10	Cumple
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	9,00	0	10	Cumple
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	9,50	0	10	Cumple
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	11,64	0	10	No cumple
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	10,61	0	10	No cumple
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	10,72	0	10	No cumple
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	4,20	0	10	Cumple
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	2,91	0	10	Cumple
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	2,19	0	10	Cumple
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	9,40	0	10	Cumple
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	8,70	0	10	Cumple
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	10,50	0	10	No cumple

Tabla 316. Resultados obtenidos del ensayo INV E 214-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/Proveedor	INV E-214-13 Curva granulométrica			
			% Pasante tamiz de 75 µm (No 200)	Valor mín (%)	Valor máx (%)	Según especificación 510-18
BGA	P024-1_1	Reciclados Industriales	5,60	2	10	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados Industriales	3,90	2	10	Cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados Industriales	6,40	2	10	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	4,30	2	10	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	11,00	2	10	No cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	8,40	2	10	Cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	8,90	0	10	Cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados Industriales	8,20	0	10	Cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados Industriales	8,70	0	10	Cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	6,70	0	10	Cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	7,20	0	10	Cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	6,50	0	10	Cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	8,50	0	10	Cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	9,20	0	10	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	8,50	0	10	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados Industriales	3,20	0	10	Cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados Industriales	1,60	0	10	Cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados Industriales	2,30	0	10	Cumple

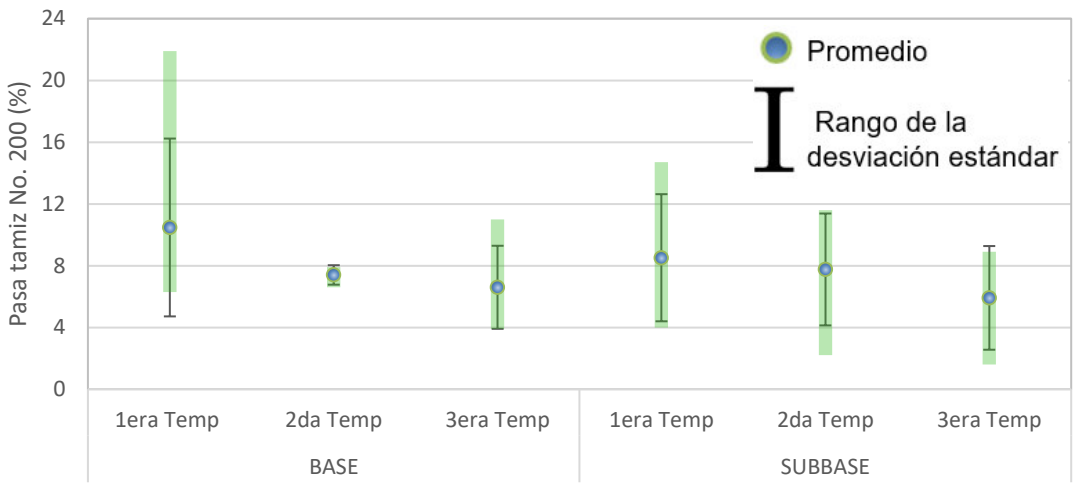


Ilustración 44. Resultados del contenido de finos en las muestras de base y subbase para cada temporalidad.

El contenido de finos, determinado como la cantidad de material que pasa el tamiz No. 200 en los agregados reciclados, según los lineamientos de la norma de ensayo INV E-214-13, evidenció un amplio rango de valores como se puede ver en la Ilustración 44 encontrando como media un valor de 8% con desviación del 3,7%, con valor máximo de contenido de finos de 21,9% observado en la primera temporalidad de las bases y como mínimo se obtuvo 1,6% en la tercera temporalidad para las subbases, sobre un total de 47 muestras. El 79% de las muestras obtuvo valores por debajo de 10% de finos. Sin embargo, se considera que el exceso de finos puede ser corregido en la planta de valorización mediante procesos mecánicos (pre cribado, lavado, soplado y otros).

- Densidad bulk (peso unitario) y porcetnaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto (INV E-217-13)

Tabla 317. Resultados obtenidos del ensayo INV E 217-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-217-13 Densidad bulk-metodo de apisonado (kg/m3)	INV E-217-13 Vacíos-metodo de apisonado (%)	INV E-217-13 Densidad bulk-llenado a paladas (kg/m3)	INV E-217-13 Vacíos-llenado a paladas (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	1730	35,0	1570	41,0
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	1690	36,0	1570	41,0

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-217-13 Densidad bulk-metodo de apisonado (kg/m3)	INV E-217-13 Vacíos-metodo de apisonado (%)	INV E-217-13 Densidad bulk-llenado a paladas (kg/m3)	INV E-217-13 Vacíos-llenado a paladas (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	1700	36,0	1570	41,0
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	1559	28,7	1520	30,5
			1558	28,7	1507	31,1
			1560	28,6	1523	30,3
			1556	28,8	1515	30,7
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	1443	93,5	1443	93,5
			1488	93,3	1456	93,4
			1499	93,2	1469	93,4
			1496	93,2	1472	93,4
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	1578	28,1	1526	30,5
			1576	28,2	1526	30,5
			1581	28,0	1526	30,5
			1579	28,1	1528	30,4
SBGA	P148-1	Ciclomat	1428	27,7	1300	34,2
			1461	26,1	1305	34,0
			1441	27,1	1310	33,7
			1443	27,0	1308	33,8
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	1621	25,9	1546	29,3
			1626	25,6	1552	29,0
			1628	25,5	1554	28,9
			1623	25,8	1553	28,9
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	1646	24,7	1534	29,8
			1648	24,6	1534	29,8
			1647	24,6	1535	29,8
			1648	24,6	1534	29,8
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	1652	24,4	1536	29,7
			1660	24,0	1537	29,7
			1653	24,4	1543	29,4
			1659	24,1	1541	29,5

Tabla 318. Resultados obtenidos del ensayo INV E 217-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-217-13 Densidad bulk-metodo de apisonado (kg/m3)	INV E-217-13 Vacíos-metodo de apisonado (%)	INV E-217-13 Densidad bulk-llenado a paladas (kg/m3)	INV E-217-13 Vacíos-llenado a paladas (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	1370	46,0	1220	52,0
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	1360	46,0	1230	51,0
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	1380	45,0	1220	52,0
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	884	58,4	798	62,5
			900	57,7	807	62,0
			914	57,0	818	61,5
			927	56,4	823	61,3
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	851	60,2	814	61,9
			869	59,3	802	62,5
			906	57,6	795	62,8
			921	56,9	786	63,2
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	884	58,4	773	63,6
			877	58,7	792	62,7
			875	58,9	781	63,3
			885	58,4	769	63,8
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	1528	32,6	1311	42,2
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	1528	32,6	1313	42,1
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	1528	33,1	1311	42,7
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	1556	29,1	1502	31,6
			1585	27,8	1518	30,9
			1593	27,5	1525	30,6
			1628	25,8	1535	30,1
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	1599	25,8	1460	32,3
			1632	24,3	1478	31,4
			1638	24,0	1501	30,4
			1655	23,2	1537	28,7

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-217-13 Densidad bulk-metodo de apisonado (kg/m3)	INV E-217-13 Vacíos-metodo de apisonado (%)	INV E-217-13 Densidad bulk-llenado a paladas (kg/m3)	INV E-217-13 Vacíos-llenado a paladas (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	1626	24,2	1524	29,0
			1653	22,9	1563	27,2
			1661	22,6	1587	26,0
			1672	22,1	1597	25,6
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	1002	53,5	879	59,2
			1004	53,4	873	59,5
			1002	53,5	873	59,5
			1003	53,5	871	59,6
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	1002	53,7	867	60,0
			1009	53,4	879	59,4
			1012	53,3	874	59,6
			1011	53,3	877	59,5
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	997	54,2	874	59,8
			1008	53,7	870	60,0
			1011	53,5	872	59,9
			1005	53,8	873	59,9
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	1377	30,0	1344	31,6
			1400	28,8	1357	31,0
			1405	28,5	1335	32,1
			1431	27,2	1336	32,0
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	1383	29,6	1342	31,7
			1406	28,5	1323	32,7
			1418	27,9	1335	32,1
			1416	28,0	1331	32,3
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	1398	28,9	1327	32,5
			1417	27,9	1360	30,8
			1454	26,0	1381	29,8
			1465	25,5	1390	29,3

Tabla 319. Resultados obtenidos del ensayo INV E 217-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-217-13 Densidad bulk-metodo de apisonado (kg/m3)	INV E-217-13 Vacíos-metodo de apisonado (%)	INV E-217-13 Densidad bulk-llenado a paladas (kg/m3)	INV E-217-13 Vacíos-llenado a paladas (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	1456	31,5	1340	37,0
			1462	31,2	1344	36,8
			1458	31,4	1350	36,5
			1458	31,4	1343	36,8
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	1447	32,3	1335	37,5
			1456	31,8	1333	37,6
			1469	31,2	1344	37,1
			1465	31,4	1326	37,9
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	1461	31,0	1339	36,7
			1457	31,2	1343	36,5
			1466	30,7	1245	41,1
			1464	30,8	1342	36,6
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	1540	39,0	1420	43,0
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	1540	39,0	1420	44,0
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	1540	38,0	1430	43,0
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	1484	29,9	1405	33,6
			1475	30,3	1408	33,4
			1506	28,8	1430	32,4
			1499	29,1	1426	32,6
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	1499	29,2	1439	32,0
			1491	29,5	1434	32,2
			1493	29,4	1447	31,6
			1511	28,6	1430	32,4
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	1494	29,3	1419	32,8
			1502	28,9	1431	32,2
			1485	29,7	1411	33,2
			1510	28,5	1428	32,4
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	1480	42,0	1320	48,0

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-217-13 Densidad bulk-metodo de apisonado (kg/m3)	INV E-217-13 Vacíos-metodo de apisonado (%)	INV E-217-13 Densidad bulk-llenado a paladas (kg/m3)	INV E-217-13 Vacíos-llenado a paladas (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	1500	41,0	1350	47,0
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	1510	41,0	1380	46,0
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	1484	34,3	1274	43,6
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	1482	34,3	1274	43,6
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	1484	34,5	1273	43,8
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	1519	29,8	1441	33,4
			1515	30,0	1432	33,9
			1516	30,0	1437	33,6
			1523	29,7	1450	33,0
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	1527	29,5	1462	32,5
			1541	28,9	1525	29,6
			1524	29,6	1457	32,7
			1535	29,1	1468	32,2
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	1527	29,5	1437	33,7
			1523	29,7	1461	32,6
			1515	30,0	1433	33,8
			1518	29,9	1442	33,4

Se encontraron valores promedio de densidad bulk en estado suelto de 1392,8 kg/m^3 con desviaciones de 62,6 kg/m^3 y valores de densidad bulk apisonada de 1495,8 kg/m^3 con desviación de 27,8 kg/m^3, por lo tanto, se puede decir que el proceso de apisonado incrementa la densidad bulk en promedio 7%, encontrándose casos donde el proceso de apisonado incremento hasta un 15% la densidad bulk. Se encontraron porcentajes de vacios para en método suelto de 36,3% con un valor mínimo de 29,6% y máximo de 48%, mientras que los porcentajes de vacios para en método apisonado fueron en promedio 31,7% con un valor mínimo de 28,5% y máximo de 42%.

- Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles **(INV E-218-13),** Determinación del valor del 10% de finos **(INV E-224-13) y** Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato desgaste utilizando el equipo Micro-Deval **(INV E-238-13).**

Tabla 320. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-218-13. Desgaste(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	53	-	45	No cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	33	-	45	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	40	-	45	Cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	41	-	45	Cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	34	-	45	Cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	38	-	45	Cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	34	-	50	Cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	49	-	50	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	44	-	50	Cumple
SBGC+RCD	P035(2)-4	1ra de Mayo	43	-	50	Cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	42	-	50	Cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	47	-	50	Cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	52	-	50	No cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	32	-	50	Cumple
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	31	-	45	Cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	39	-	45	Cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	43	-	45	Cumple

Tabla 321. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	INV E-218-13. Desgaste(%)			
		Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	33,0	-	45	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	40,0	-	45	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	39,0	-	45	Cumple
BGA	P133-1_1	36,0	-	45	Cumple
BGA	P133-1_2	36,0	-	45	Cumple
BGA	P133-1_3	34,0	-	45	Cumple
SBGA	P022-1_1	43,3	-	50	Cumple
SBGA	P022-1_2	45,2	-	50	Cumple
SBGA	P022-1_3	44,0	-	50	Cumple
SBGA	P133-2_1	36,0	-	50	Cumple
SBGA	P133-2_2	35,0	-	50	Cumple
SBGA	P133-2_3	36,0	-	50	Cumple
SBGC	P133-3_1	38,0	-	50	Cumple
SBGC	P133-3_2	37,0	-	50	Cumple
SBGC	P133-3_3	36,0	-	50	Cumple
SBGC	P148-2_1	48,0	-	50	Cumple
SBGC	P148-2_2	49,0	-	50	Cumple
SBGC	P148-2_3	48,0	-	50	Cumple

Tabla 322. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-218-13. Desgaste(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	39,0	-	45	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	39,0	-	45	Cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	38,0	-	45	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	44,0	-	45	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-218-13. Desgaste(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	45,0	-	45	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	43,0	-	45	Cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	36,0	-	50	Cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	35,0	-	50	Cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	36,0	-	50	Cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	47,0	-	50	Cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	46,0	-	50	Cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	47,0	-	50	Cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	46,2	-	50	Cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	48,2	-	50	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	46,4	-	50	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	37,0	-	50	Cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	37,0	-	50	Cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	36,0	-	50	Cumple

Tabla 323. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-224-13. 10% finos - Seco(kN)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	179	90	-	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	140	90	-	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	180	90	-	Cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	96	90	-	Cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	136	90	-	Cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	98	60	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-224-13. 10% finos - Seco(kN)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
SBGA	P148-1	Ciclomat	72	60	-	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	88	60	-	Cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	111	60	-	Cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	96	60	-	Cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	66	60	-	Cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	145	60	-	Cumple
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	158	90	-	Cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	145	90	-	Cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	97	40	-	Cumple

Tabla 324. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	INV E-224-13. 10% finos - Seco(kN)			
		Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	123	90	-	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	120	90	-	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	121	90	-	Cumple
BGA	P133-1_1	111	90	-	Cumple
BGA	P133-1_2	117	90	-	Cumple
BGA	P133-1_3	113	90	-	Cumple
SBGA	P022-1_1	95	60	-	Cumple
SBGA	P022-1_2	90	60	-	Cumple
SBGA	P022-1_3	90	60	-	Cumple
SBGA	P133-2_1	119	60	-	Cumple
SBGA	P133-2_2	114	60	-	Cumple
SBGA	P133-2_3	110	60	-	Cumple
SBGC	P133-3_1	112	60	-	Cumple
SBGC	P133-3_2	115	60	-	Cumple
SBGC	P133-3_3	114	60	-	Cumple
SBGC	P148-2_1	62	60	-	Cumple
SBGC	P148-2_2	70	60	-	Cumple
SBGC	P148-2_3	67	60	-	Cumple

Tabla 325. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-224-13. 10% finos - Seco(kN)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	116	90	-	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	116	90	-	Cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	100	90	-	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	107	90	-	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	116	90	-	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	122	90	-	Cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	125	60	-	Cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	119	60	-	Cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	120	60	-	Cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	55	60	-	No cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	69	60	-	Cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	44	60	-	No cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	95	60	-	Cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	95	60	-	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	95	60	-	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	103	60	-	Cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	92	60	-	Cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	101	60	-	Cumple

Tabla 326. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-238-13. Degradación por abrasión(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	21,2	-	35,00	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	21,2	-	35,00	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	21,2	-	35,00	Cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	28,4	-	35,00	Cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	20,7	-	35,00	Cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	34,4	-	35,00	Cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	22,7	-	30,00	Cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	43,8	-	45,00	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	37,7	-	45,00	Cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	28,2	-	45,00	Cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	38,5	-	45,00	Cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	44,4	-	45,00	Cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	18,1	-	45,00	Cumple
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	21,5	-	35,00	Cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	27,7	-	35,00	Cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	35,8	-	35,00	No cumple

Tabla 327. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-238-13. Degradación por abrasión(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	21,2	-	35,00	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	21,2	-	35,00	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	21,2	-	35,00	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-238-13. Degradación por abrasión(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	23,6	-	35,00	Cumple
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	23,1	-	35,00	Cumple
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	24,3	-	35,00	Cumple
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	39,1	-	45,00	Cumple
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	40,3	-	45,00	Cumple
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	41,2	-	45,00	Cumple
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	23,3	-	45,00	Cumple
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	22,9	-	45,00	Cumple
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	22,6	-	45,00	Cumple
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	23,9	-	45,00	Cumple
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	23,2	-	45,00	Cumple
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	23,6	-	45,00	Cumple
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	42,3	-	45,00	Cumple
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	43,9	-	45,00	Cumple
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	42,3	-	45,00	Cumple

Tabla 328. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-238-13. Degradación por abrasión(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	24,6	-	35,00	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	24,3	-	35,00	Cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	24,9	-	35,00	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	21,2	-	35,00	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	21,2	-	35,00	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-238-13. Degradación por abrasión(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	21,2	-	35,00	Cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	26,2	-	45,00	Cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	25,2	-	45,00	Cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	25,6	-	45,00	Cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	21,2	-	45,00	Cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	21,2	-	45,00	Cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	21,2	-	45,00	Cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	43,7	-	45,00	Cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	44	-	45,00	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	44,7	-	45,00	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	25,1	-	45,00	Cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	26,1	-	45,00	Cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	25,3	-	45,00	Cumple

Para la muestra P063-3 correspondiente al ensayo INV E 224-13 de la primera temporalidad no es posible realizar ensayo ya que la muestra no cumple con la cantidad minima de material requeridad.

Sobre la resistencia a la fragmentación, se ha evaluado la resistencia al desgaste en la Maquina de los ángeles según la INV E 218-13 y la degradación por abrasión en el Micro Deval según la INV E 238-13, adicionalmente se ensayaron las muestras al ensayo de 10% de finos según la INV E 224-13. Como se evidencia en los resultados de la Ilustración 45 se han obtenido valores entre 31% y 53% en el ensayo de la Maquina de los Ángeles y entre 18% y 45% para el Micro Deval, por otro lado la carga reportada para obtener el 10% de finos con los agregados naturales fue entre 44kN y 180kN como se observa en la Ilustración 46, obteniendo como valor medio 107kN y 27,7kN de desviación estándar para todos los agregados reciclados analizados en las 3 temporalidades.

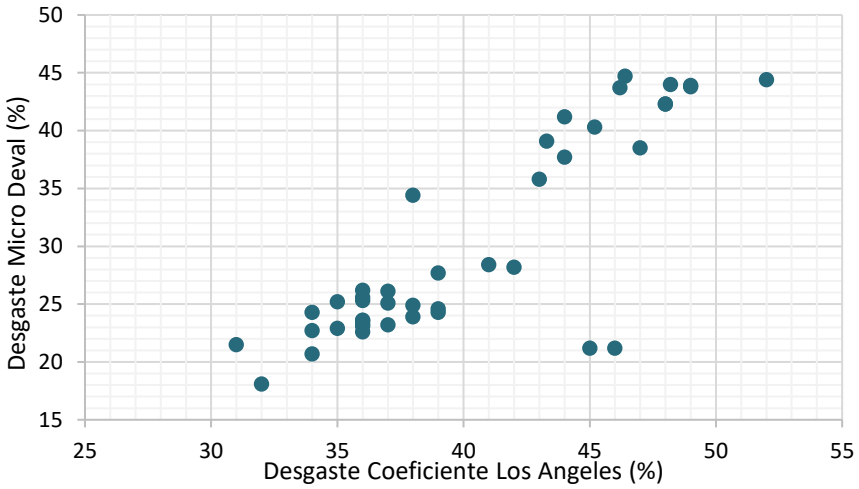


Ilustración 45. Resultados de Coeficiente de los Ángeles y Micro Deval para todos los agregados reciclados analizados en las 3 temporalidades.

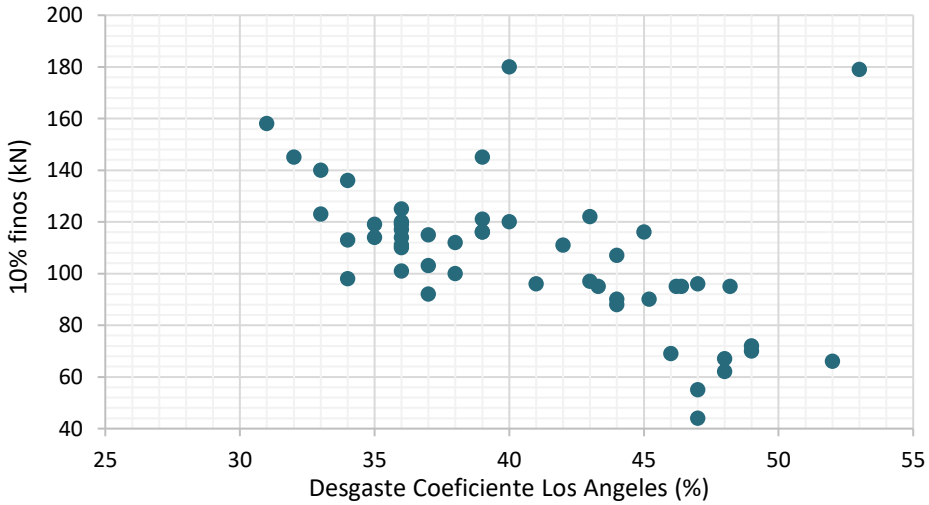


Ilustración 46. Resultados de Coeficiente de los Ángeles contra la carga obtenida para 10% de finos para todos los agregados reciclados analizados en las 3 temporalidades.

Los resultados del 10% de finos se han evaluado discriminando por temporalidad y característica de uso (baso o subbase). En la Ilustración 47 se observa como en la temporalidad 1 para las bases, recoge los más altos valores.

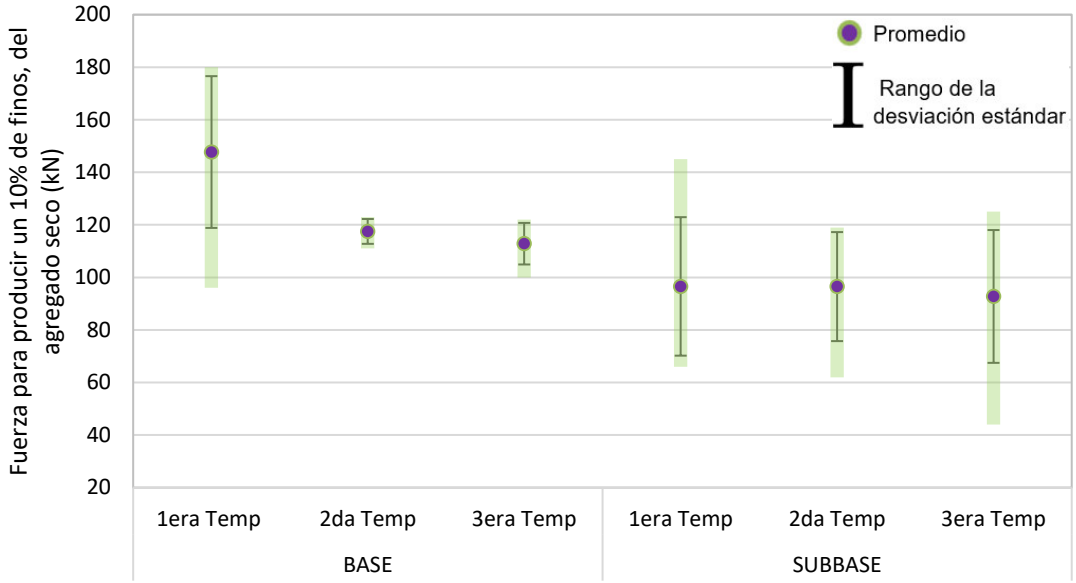


Ilustración 47. Resultados del 10% de finos.

Cabe destacar que el coeficiente de los ángeles es un ensayo que no termina de definir adecuadamente el agregado reciclado, teniendo en cuenta que, durante la ejecución del ensayo, se puede pulverizar el mortero adherido de los agregados reciclados de concreto, debido a su porosidad y en el caso de los agregados reciclados cerámicos la generación de finos puede traer un efecto favorable que pueden contribuir en el proceso de compactación a potenciar la reacción puzolánica, por lo que en estos casos, el mayor desgaste en la máquina de los ángeles es compensado por una mejor cohesión del material durante su compactación.

No es posible hacer una correlación de los agregados reciclados con la temporalidad o la planta donde se ha realizado el proceso de valoración, debido a la gran heterogeneidad del material de entrada a las plantas de valorización, por lo que se considera importante establecer rangos de composición para los materiales que componen el agregado reciclado, intentando verificar que el grupo logra cumplir propiedades en valores similares.
En la Ilustración 48 se presentan los resultados de absorción de agregados gruesos y coeficiente de los ángeles, intentando hacer correlaciones para evaluar la calidad de los agregados reciclados. Sin embargo, no es posible, debido a la dispersión de puntos.

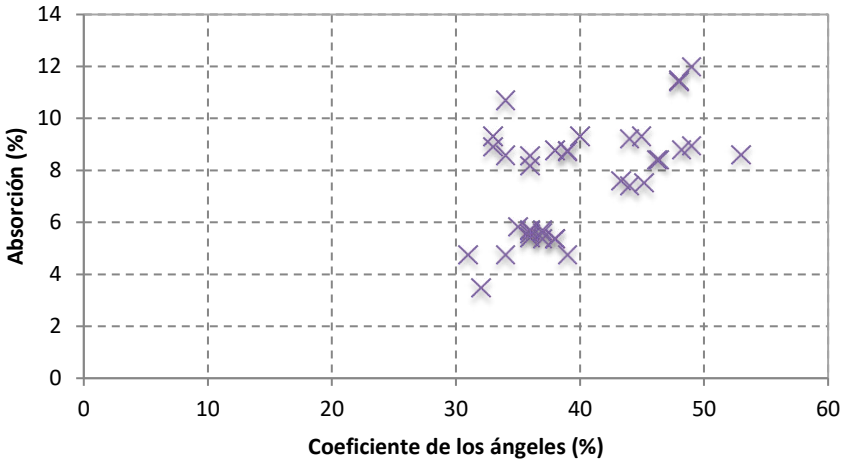


Ilustración 48. Absorcion de los agregados reciclados gruesos y su coeficiente de los angeles.

- Solidez de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio **(INV E-220-13)**

Tabla 329. Resultados obtenidos del ensayo INV E 220-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13. Agregado Fino - Sulfato de Sodio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 400-11
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	3,6	-	12	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	3,7	-	12	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	3,5	-	12	Cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	25,5	-	12	No cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	4,3	-	12	Cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	3,2	-	12	Cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	2,4	-	12	Cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	5,4	-	12	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	7,5	-	12	Cumple
SBGC+RCD	P035(2)-4	1ra de Mayo	32,4	-	12	No cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	25,8	-	12	No cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	27,6	-	12	No cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	7,46	-	12	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13. Agregado Fino - Sulfato de Sodio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 400-11
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	1,5	-	12	Cumple
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	3,6	-	12	Cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	3,9	-	12	Cumple
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	7,7	-	12	Cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	-	-	12	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13. Agregado Grueso - Sulfato de Sodio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 400-11
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	2,52	-	12	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	2,76	-	12	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	2,36	-	12	Cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	22,00	-	12	No cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	5,83	-	12	Cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	9,90	-	12	Cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	10,40	-	12	Cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	4,98	-	12	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	3,20	-	12	Cumple
SBGC+RCD	P035(2)-4	1ra de Mayo	22,00	-	12	No cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	31,00	-	12	No cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	20,00	-	12	No cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	3,18	-	12	Cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	1,48	-	12	Cumple
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	6,50	-	12	Cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	7,18	-	12	Cumple
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	-	-	12	No cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	3,96	-	12	Cumple

Tabla 330. Resultados obtenidos del ensayo INV E 220-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13. Agregado Fino - Sulfato de Sodio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 400-11
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	4,93	-	12	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	4,84	-	12	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	6,13	-	12	Cumple
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	2,88	-	12	Cumple
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	2,72	-	12	Cumple
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	2,88	-	12	Cumple
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	6,19	-	12	Cumple
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	6,20	-	12	Cumple
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	6,25	-	12	Cumple
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	3,28	-	12	Cumple
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	2,86	-	12	Cumple
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	3,36	-	12	Cumple
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	3,20	-	12	Cumple
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	2,88	-	12	Cumple
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	3,22	-	12	Cumple
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	4,90	-	12	Cumple
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	5,10	-	12	Cumple
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	5,10	-	12	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13. Agregado Grueso - Sulfato de Sodio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 400-11
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	6,16	-	12	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	6,11	-	12	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13. Agregado Grueso - Sulfato de Sodio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 400-11
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	6,18	-	12	Cumple
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	6,35	-	12	Cumple
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	6,825	-	12	Cumple
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	5,58	-	12	Cumple
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	8,93	-	12	Cumple
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	8,47	-	12	Cumple
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	8,70	-	12	Cumple
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	9,05	-	12	Cumple
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	6,88	-	12	Cumple
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	4,93	-	12	Cumple
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	1,05	-	12	Cumple
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	1,88	-	12	Cumple
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	0,98	-	12	Cumple
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	6,20	-	12	Cumple
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	3,88	-	12	Cumple
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	3,28	-	12	Cumple

Tabla 331. Resultados obtenidos del ensayo INV E 220-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13. Agregado Fino - Sulfato de Sodio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 400-11
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	5,78	-	12	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	4,98	-	12	Cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	5,3	-	12	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	3,98	-	12	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13. Agregado Fino - Sulfato de Sodio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 400-11
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	4,17	-	12	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	4,01	-	12	Cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	4,36	-	12	Cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	4,88	-	12	Cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	4,88	-	12	Cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	4,43	-	12	Cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	4,86	-	12	Cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	4,66	-	12	Cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	7,63	-	12	Cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	7,33	-	12	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	7,55	-	12	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	6,08	-	12	Cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	6,60	-	12	Cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	6,72	-	12	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13. Agregado Grueso - Sulfato de Sodio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 400-11
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	3,03	-	12	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	8,07	-	12	Cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	3,47	-	12	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	5,71	-	12	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	5,63	-	12	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	5,64	-	12	Cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	5,03	-	12	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-220-13. Agregado Grueso - Sulfato de Sodio (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 400-11
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	4,55	-	12	Cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	4,60	-	12	Cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	3,91	-	12	Cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	4,37	-	12	Cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	4,13	-	12	Cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	9,80	-	12	Cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	9,03	-	12	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	9,57	-	12	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	1,23	-	12	Cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	7,07	-	12	Cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	0,97	-	12	Cumple

Es importante acalarar que para el ensayo INV E-220-13, los valores de cumplimiento fueron comparados con la especificación 400-11 teniendo en cuenta que, para las Especificaciones de 2018, este parámetro no es exigido.

Además de muestras tomadas en plantas de Gestión o Valorización de RCD, han sido tomadas muestras que se han colocado en algunos puntos de la ciudad como: 1ª de mayo, San Antonio o Av Bosa, y estas muestras han reportado valores superiores a 20% en el ensayo de sulfato de sodio para agregados gruesos y finos, según la INV E 220-13, incumpliendo lo establecido por la norma (18%), Estas muestras fueron parte de la primera temporalidad, por lo que se reflejan los datos en la Ilustración 49. Si miramos el conjunto de datos solo de las muestras tomadas en planta, el promedio general es 5,34% con 2,6% de desviación para los gruesos y 4,75% con desviación de 1,6% para agregados finos, cumpliendo holgadamente en todos los casos la restricción de 18%.

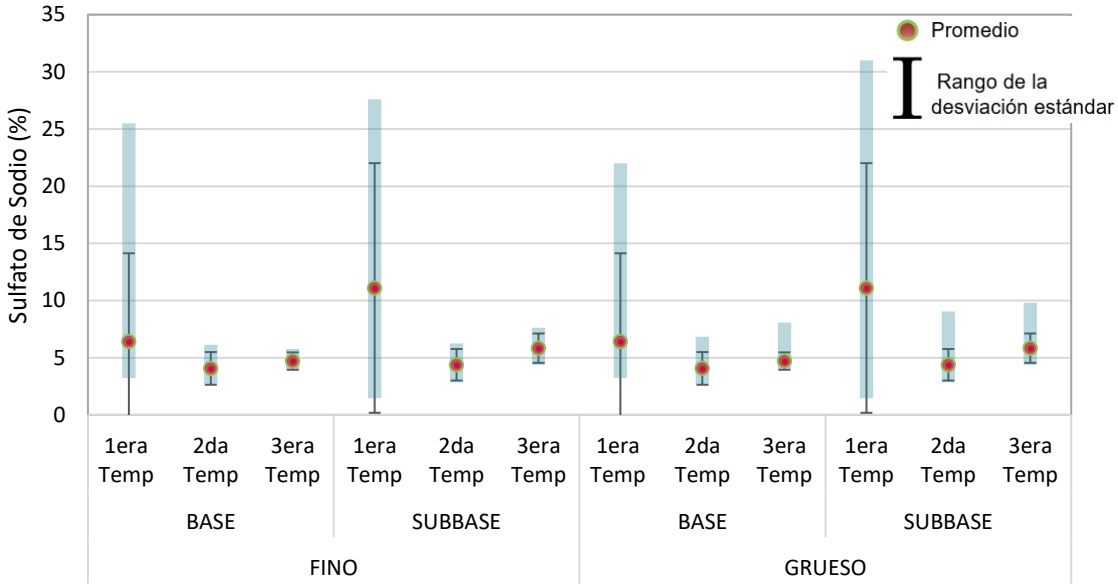


Ilustración 49. Resultados de sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio para las distintas temporalidades clasificado como base o subbase.

- Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino **(INV E-222-13) y** Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso **(INV E-223-13)**

Tabla 332. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-222-13. Densidad SH (kg/m³)	INV E-222-13. Densidad relativa SH (-)	INV E-222-13. Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	2100	2,10	8,60
			2090	2,09	8,90
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	2100	2,10	9,10
			2100	2,10	9,00
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	2100	2,10	8,80
			2100	2,10	8,90
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	2090	2,10	10,69
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	2120	2,12	5,35

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-222-13. Densidad SH (kg/m³)	INV E-222-13. Densidad relativa SH (-)	INV E-222-13. Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	2190	2,20	4,76
SBGA	P148-1	Ciclomat	2040	2,04	8,93
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	2050	2,05	9,17
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	2110	2,11	7,67
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	2180	2,19	4,98
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	2190	2,20	3,46
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	2190	2,20	4,76
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	2290	2,29	4,76
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	2130	2,13	6,32
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	2070	2,08	7,18

Tabla 333. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-222-13. Densidad SH (kg/m³)	INV E-222-13. Densidad relativa SH (-)	INV E-222-13. Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	2090	2,09	9,30
			2080	2,08	9,30
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	2090	2,09	9,30
			2080	2,08	9,20
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	2090	2,09	9,00
			2080	2,09	9,20
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	2040	2,05	8,18
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	2040	2,04	8,55
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	2040	2,05	8,58
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	2158	2,16	7,60
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	2170	2,17	7,50

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-222-13. Densidad SH (kg/m³)	INV E-222-13. Densidad relativa SH (-)	INV E-222-13. Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	2176	2,18	7,40
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	2060	2,06	8,18
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	2040	2,05	8,48
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	2060	2,06	7,81
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	2140	2,15	5,37
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	2150	2,15	5,37
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	2140	2,15	5,42
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	1960	1,96	11,46
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	1930	1,93	11,98
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	1960	1,97	11,41

Tabla 334. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-222-13. Densidad SH (kg/m³)	INV E-222-13. Densidad relativa SH (-)	INV E-222-13. Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	2030	2,04	8,74
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	2030	2,04	8,72
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	2040	2,04	8,77
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	2090	2,09	9,20
			2090	2,09	9,30
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	2080	2,08	9,70
			2080	2,08	9,60
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	2100	2,10	8,70
			2100	2,10	8,70

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-222-13. Densidad SH (kg/m³)	INV E-222-13. Densidad relativa SH (-)	INV E-222-13. Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	2100	2,11	5,66
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	2100	2,10	5,82
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	2090	2,09	5,71
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	1990	1,99	9,40
			2000	2,00	9,30
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	1990	1,99	9,30
			1990	1,99	9,30
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	1990	1,99	9,30
			1990	1,99	9,40
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	2139	2,14	8,40
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	2131	2,13	8,80
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	2141	2,14	8,40
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	2150	2,15	5,69
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	2280	2,16	5,6
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	2160	2,16	5,55

Tabla 335. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-223-13. Densidad SH (kg/m³)	INV E-223-13. Densidad relativa SH (-)	INV E-223-13. Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	2330	2,33	5,4
			2310	2,31	5,5
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	2310	2,31	5,6
			2300	2,30	5,7
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	2320	2,32	5,3
			2330	2,33	5,2
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	2190	2,20	7,0

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-223-13. Densidad SH (kg/m³)	INV E-223-13. Densidad relativa SH (-)	INV E-223-13. Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	2170	2,18	6,0
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	2190	2,20	6,1
SBGA	P148-1	Ciclomat	1980	1,99	9,9
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	2020	2,02	10,4
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	2030	2,04	9,4
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	1980	1,98	10,5
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	2200	2,20	3,6
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	2190	2,19	6,6
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	2220	2,22	5,3
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	2050	2,05	9,2

Tabla 336. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-223-13. Densidad SH (kg/m³)	INV E-223-13. Densidad relativa SH (-)	INV E-223-13. Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	2070	2,07	9,0
			2060	2,06	9,2
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	2050	2,05	9,2
			2050	2,05	9,5
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	2040	2,04	9,7
			2020	2,02	9,9
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	2130	2,14	6,8
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	2150	2,15	6,7
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	2130	2,14	7,0
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	2025	2,03	10,1
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	2020	2,02	10,3
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	2057	2,06	9,3

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-223-13. Densidad SH (kg/m³)	INV E-223-13. Densidad relativa SH (-)	INV E-223-13. Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	2200	2,21	5,9
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	2170	2,17	6,9
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	2150	2,16	7,2
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	2160	2,17	6,9
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	2170	2,18	6,4
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	2180	2,19	5,6
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	1970	1,97	10,1
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	1980	1,99	10,2
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	1950	1,96	10,6

Tabla 337. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-223-13. Densidad SH (kg/m³)	INV E-223-13. Densidad relativa SH (-)	INV E-223-13. Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	2190	2,20	6,8
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	2190	2,20	6,9
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	2170	2,18	7,0
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	2010	2,01	10,0
			2030	2,03	9,9
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	1990	1,99	10,5
			2000	2,00	10,3
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	1980	1,98	10,5
			1990	1,99	10,2
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	2130	2,13	5,5
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	2130	2,14	5,6

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-223-13. Densidad SH (kg/m³)	INV E-223-13. Densidad relativa SH (-)	INV E-223-13. Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	2130	2,14	6,1
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	1980	1,98	11,2
			1980	1,98	11,2
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	1970	1,97	11,7
			1970	1,97	11,7
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	1980	1,98	11,5
			1980	1,98	11,5
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	2002	2,00	10,5
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	1987	1,99	10,8
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	2017	2,02	10,1
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	2190	2,19	5,5
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	2180	2,19	5,1
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	2160	2,17	5,3

Respecto a las propiedades de absorción y densidad de los agregados reciclados evaluadas con las normas INV E 222-13 e INV E 223-13, se obtienen valores que pueden dar una idea de la calidad del material. En general se caracterizan por tener una absorción más elevada que los agregados naturales, por lo que se hace evidente la mayor cantidad de agua que se requiere en procesos como el de compactación. La presencia de elementos de concreto y cerámicos contribuyen en el aumento de la absorción del material reciclado. Para los agregados finos se obtuvieron valores de absorción entre 3,5% y 12%, con promedio de 8,1% y desviación de 1,85% y valores de densidad entre 1930kg/m^3 y 2290 kg/m^3 con un promedio de 2090kg/m^3 y desviación de 70,1 kg/m^3 para un total de 63 muestras. Valores similares fueron obtenidos para los agregados gruesos como se observan en la Ilustración 50 y la Ilustración 51, donde los menores valores de absorción y mayores valores de densidad son obtenidos en la primera temporalidad para la clasificación base, coincidiendo con las muestras que presentaron mayor contenido de agregado natural. Al evaluar la clasificación se evidenció que las bases con 28.7% de agregados no ligados (Ru o pétreos naturales) presentan menores valores de absorción que las subbases con valores de 11.7% Ru, que corresponden con menores valores de densidad, lo cual se atribuye también evidentemente a mayores contenidos de materiales de concreto y cerámicos (Rc+Rb), reportando entre los dos 69% para subbase y 62% para base.

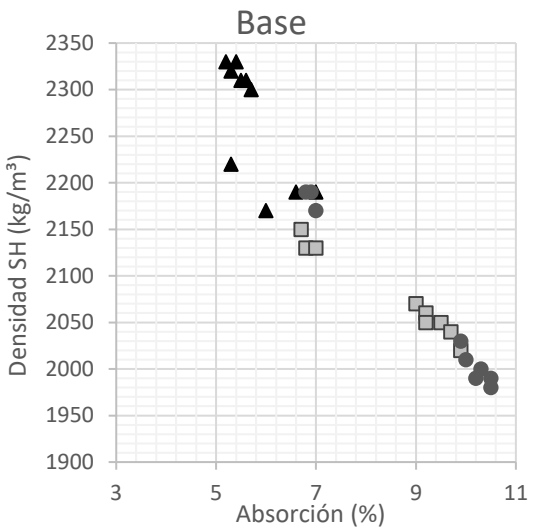


Ilustración 50. Resultados de absorción y densidad para los agregados gruesos reciclados de base por Temporalidad.

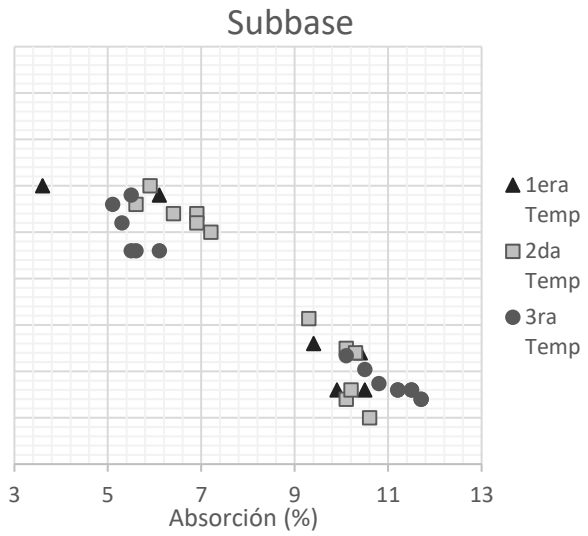


Ilustración 51. Resultados de absorción y densidad para los agregados gruesos reciclados de Subbase por Temporalidad.

La bibliografía indica que la presencia de materiales pétreos mejora las características del agregado reciclado, entre ellas, la absorción de agua y la densidad. Por lo tanto, la clasificación de los agregados reciclados en categorías según la predominancia de componentes ya sea pétreos, de concreto y/o cerámicos, puede ayudar a definir mejor las características esperadas de un determinado agregado reciclado.

- Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso **(INV E-227-13)**

Tabla 338. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-227-13 Caras fracturadas- 1 Cara (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	89	95	-	No cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	89	95	-	No cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	86	95	-	No cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	100	95	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-227-13 Caras fracturadas- 1 Cara (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	100	95	-	Cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	100	95	-	Cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	100	87	-	Cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	100	87	-	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	100	87	-	Cumple
SBGC+RCD	P035(2)-4	1ra de Mayo	100	87	-	Cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	100	87	-	Cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	100	87	-	Cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	100	87	-	Cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	100	87	-	Cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	100	95	-	Cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	100	NA	-	NA

Tabla 339. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-227-13 Caras fracturadas- 1 Cara (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	99	95	-	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	97	95	-	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	97	95	-	Cumple
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	100	95	-	Cumple
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	100	95	-	Cumple
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	100	95	-	Cumple
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	100	85	-	Cumple
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	100	85	-	Cumple
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	100	85	-	Cumple
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	100	85	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-227-13 Caras fracturadas- 1 Cara (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	100	85	-	Cumple
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	100	85	-	Cumple
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	100	85	-	Cumple
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	100	85	-	Cumple
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	100	85	-	Cumple
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	100	85	-	Cumple
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	100	85	-	Cumple
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	100	85	-	Cumple

Tabla 340. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-227-13 Caras fracturadas- 1 Cara (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	100	95	-	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	100	95	-	Cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	100	95	-	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	95	95	-	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	92	95	-	No cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	94	95	-	No cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	100	85	-	Cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	100	85	-	Cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	100	85	-	Cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	94	85	-	Cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	91	85	-	Cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	94	85	-	Cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	100	85	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-227-13 Caras fracturadas- 1 Cara (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	100	85	-	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	100	85	-	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	100	85	-	Cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	100	85	-	Cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	100	85	-	Cumple

Respecto a la forma de los agregados reciclados, se puede decir que bajo la norma de ensayo INV E-227-13, se obtuvo que en promedio el 98% de los agregados reciclados ensayados tiene sus caras fracturadas, la desviación fue solo de 3,4 %, el valor mínimo encontrado fue de 86% y el máximo de 100%.

- Determinación del contenido de azufre en los agregados pétreos **(INV E-233-13)**

Tabla 341. Resultados obtenidos del ensayo INV E 233-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-233-13 s (Contenido de Azufre %)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según GEAR granulates en firmes
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	1,0	-	1	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	1,1	-	1	No cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	1,1	-	1	No cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	2,8	-	1	No cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	1,1	-	1	No cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	1,5	-	1	No cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	0,9	-	1	Cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	1,5	-	1	No cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	1,6	-	1	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-233-13 s (Contenido de Azufre %)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según GEAR granulates en firmes
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	1,6	-	1	No cumple
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	1,9	-	1	No cumple
Grava 1"	P059-5	Ciclomat	2,6	-	1	No cumple

Tabla 342. Resultados obtenidos del ensayo INV E 233-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-233-13 s (Contenido de Azufre %)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según GEAR granulates en firmes
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	1,2	-	1	No cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	1,2	-	1	No cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	1,1	-	1	No cumple
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	1,6	-	1	No cumple
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	1,7	-	1	No cumple
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	1,6	-	1	No cumple
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	2,0	-	1	No cumple
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	2,2	-	1	No cumple
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	2,2	-	1	No cumple
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	1,2	-	1	No cumple
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	1,3	-	1	No cumple
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	1,2	-	1	No cumple
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	1,3	-	1	No cumple
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	1,4	-	1	No cumple
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	1,3	-	1	No cumple
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	2,7	-	1	No cumple
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	2,7	-	1	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-233-13 s (Contenido de Azufre %)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según GEAR granulates en firmes
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	2,6	-	1	No cumple

Tabla 343. Resultados obtenidos del ensayo INV E 233-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-233-13 s (Contenido de Azufre %)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según GEAR granulates en firmes
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	2,2	-	1	No cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	2,0	-	1	No cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	2,1	-	1	No cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	1,4	-	1	No cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	1,3	-	1	No cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	1,4	-	1	No cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	2,4	-	1	No cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	2,3	-	1	No cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	2,3	-	1	No cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	1,1	-	1	No cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	1,1	-	1	No cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	1,3	-	1	No cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	2,6	-	1	No cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	2,6	-	1	No cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	2,6	-	1	No cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	1,4	-	1	No cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	1,4	-	1	No cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	1,5	-	1	No cumple

Al evaluar el contenido de azufre de las muestras según la norma INV 233-13, se ha obtenido como valor medio 1,7%, presentando valores máximos de 2,8% con desviación estándar de 0,8% para un total de 48 muestras analizadas. Al observar la Ilustración 52, se encuentra que en ningún caso los promedios están por debajo de 1% como lo recomiendan otras especificaciones que relacionan el uso del material como capa granular. La limitación en agregados no ligados busca limitar la solubilidad de sulfatos para garantizar la estabilidad dimensional de la sección y evitar algún riesgo de patología por sulfatos hacia alguna estructura de concreto colindante. Sin embargo, se recomienda ampliar el estudio de compuestos de azufre, sulfatos solubles en agua y contenido de yeso.

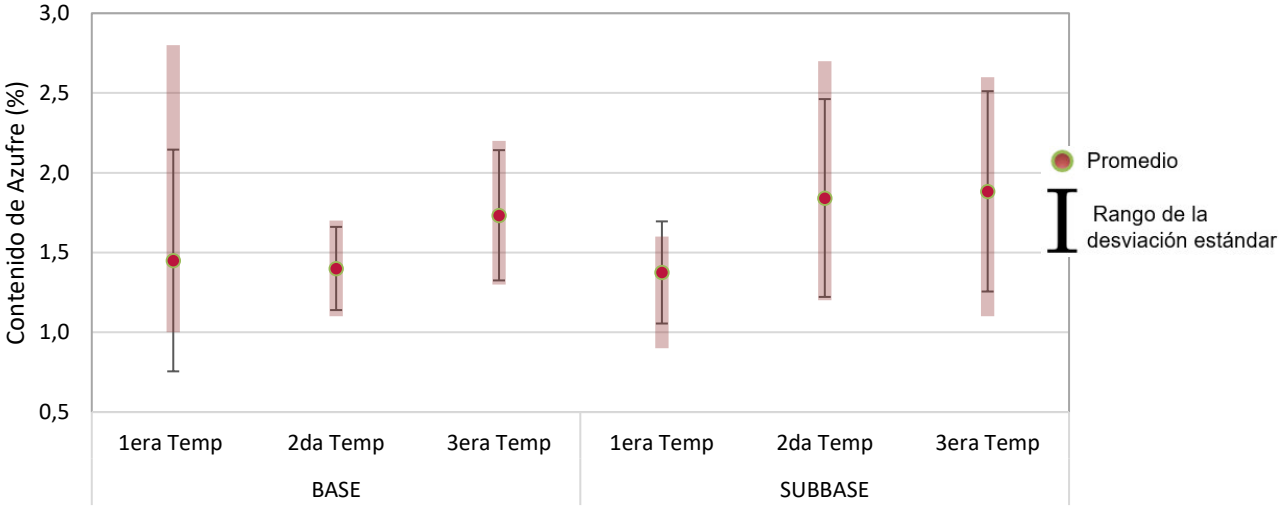


Ilustración 52. Resultados del contenido de azufre según la INV E 233-13, según la temporalidad y la clasificación de agregado reciclado.

Se evaluó el contenido de azufre para analizar la influencia sobre la fracción de agregados con mortero adherido o solo mortero. y lixiviados con el propósito de evaluar la posible contaminación que los agregados pudieran general al suelo o fuentes de agua, por procesos de precipitación de agua lluvia mediante percolación a través de la estructura.

- Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice de agregados (método químico) **(INV E-234-13)**

Tabla 344. Resultados obtenidos del ensayo INV E 234-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-234-13	INV E-234-13
			Sc Concentracion se SiO2 (Metodo fotometrico)	Rc Reduccion en la alcalinidad
	P031-2_1	GRECO	253,9823	285

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-234-13	INV E-234-13
			Sc Concentracion se SiO2 (Metodo fotometrico)	Rc Reduccion en la alcalinidad
Base Tipo A Mezcla			254,2773	300
			250,4425	280
			251,0324	
			17,1826	
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	256,3422	300
			257,2271	295
			254,8673	290
			253,3973	
			17,1826	
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	258,9971	295
			262,5369	305
			259,882	
			261,6519	
			17,1826	
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	145,1327	270
			138,0531	285
			143,3628	290
			141,5929	
			17,1826	
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	52,8024	250
			53,3923	255
			53,0973	260
			52,2124	
			17,1826	
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	46,9027	175
			45,7227	150
			45,4277	155
			44,8378	
			17,1826	
SBGA	P148-1	Ciclomat	55,7522	90
			55,4572	95
			56,0472	90
			53,0973	
			17,1826	
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	113,8643	210
			118,2891	180
			116,5192	190
			128,6136	
			17,1826	
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	81,7109	270
			81,4159	285

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-234-13	INV E-234-13
			Sc Concentracion se SiO2 (Metodo fotometrico)	Rc Reduccion en la alcalinidad
			80,531	290
			80,236	
			17,1826	
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	55,1622	230
			55,7522	240
			55,1622	250
			54,8673	
			17,1826	
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	165,1917	315
			166,3717	335
			164,0118	330
			166,0767	
			17,1826	
Grava 1"	P059-5	Ciclomat	103,6382	180
			106,4897	175
			102,5565	200
			101,5733	
			17,1826	

Tabla 345. Resultados obtenidos del ensayo INV E 234-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-234-13	INV E-234-13
			Sc Concentracion se SiO2 (Metodo fotometrico)	Rc Reduccion en la alcalinidad
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	287,021	360
			290,561	375
			279,351	370
			279,351	
			17,1826	
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	288,201	345
			288,496	360
			288,791	370
			289,086	
			17,183	
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	271,976	355
			279,351	340
			273,451	360
			274,926	

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-234-13	INV E-234-13
			Sc Concentracion se SiO2 (Metodo fotometrico)	Rc Reduccion en la alcalinidad
			17,183	
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	37,168	245
			35,988	225
			36,283	230
			37,168	
			17,183	
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	37,758	220
			37,758	225
			37,168	215
			37,168	
			17,183	
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	37,168	245
			36,283	240
			35,693	235
			36,578	
			17,183	
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	62,537	90
			64,012	100
			63,422	95
			63,422	
			17,183	
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	59,587	105
			60,767	100
			60,177	100
			59,882	
			17,183	
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	68,732	95
			66,962	90
			66,667	100
			67,847	
			17,183	225
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	58,112	255
			58,407	280
			59,292	275
			57,522	
			17,183	
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	56,637	235
			58,112	230
			60,472	245
			57,522	

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-234-13	INV E-234-13
			Sc Concentracion se SiO2 (Metodo fotometrico)	Rc Reduccion en la alcalinidad
			17,183	
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	58,112	235
			58,407	230
			60,472	245
			57,522	
			17,183	
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	92,035	220
			93,510	210
			93,215	200
			90,856	
			17,183	
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	93,510	220
			93,215	230
			93,805	230
			94,985	
			17,183	
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	91,445	210
			93,510	205
			94,985	225
			95,870	
			17,183	
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	63,717	340
			62,242	335
			63,717	335
			62,537	
			17,183	
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	63,717	340
			62,242	335
			63,717	335
			62,537	
			17,183	
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	68,142	335
			68,732	330
			68,142	345
			68,142	
			17,183	

Tabla 346. Resultados obtenidos del ensayo INV E 234-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-234-13 Sc Concentracion se SiO2 (Metodo fotometrico)	INV E-234-13 Rc Reduccion en la alcalinidad
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	48,9676	175
			47,4926	165
			48,6726	180
			59,587	
			17,1826	
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	50,7375	155
			51,9174	145
			52,2124	160
			57,5221	
			17,1826	
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	51,0324	200
			49,2625	190
			51,6224	180
			51,9174	
			17,1826	
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	270,5015	300
			272,5664	290
			271,9764	275
			270,7965	
			17,1826	
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	279,941	305
			281,1209	295
			277,8761	300
			278,7611	
			17,1826	
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	278,4661	310
			276,6962	300
			277,2861	305
			277,2861	
			17,1826	
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	54,572	220
			54,867	210
			58,112	200
			58,407	
			17,182	
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	54,572	220
			57,522	225
			56,637	245
			56,3422	
			17,182	

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-234-13 Sc Concentracion se SiO2 (Metodo fotometrico)	INV E-234-13 Rc Reduccion en la alcalinidad
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	58,997	210
			58,112	205
			58,407	210
			57,522	
			17,182	
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	108,7021	385
			108,2596	375
			106,7847	360
			109,1445	
			17,1826	
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	100,4425	360
			100,7375	370
			99,8525	350
			100	
			17,1826	
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	104,5723	385
			105,3097	375
			105,6047	390
			103,8348	
			17,1826	
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	60,472	245
			60,767	250
			61,0619	
			61,3569	
			17,1826	
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	61,0619	220
			61,3569	215
			64,0118	225
			64,0118	
			17,1826	
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	59,587	245
			59,882	235
			58,4071	225
			58,4071	
			17,1826	
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	93,5103	115
			92,0354	125
			87,6106	100
			92,0354	
			17,1826	
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	87,6106	100
			90,2655	125

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-234-13	INV E-234-13
			Sc Concentracion se SiO2 (Metodo fotometrico)	Rc Reduccion en la alcalinidad
			89,6755	140
			87,6106	
			17,1826	
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	93,5103	115
			92,6254	145
			93,2153	140
			93,5103	
			17,1826	

Como se dijo unos párrafos arriba, se debe estudiar más afondo y con un análisis químico riguroso el tema del contenido de azufre, yeso y los sulfatos solubles para analizar su correlación y lograr definir limitantes, aunque en el ensayo de composición no se observó yeso a simple vista, es posible que el yeso esté presente en el agregado reciclado de concreto, además como sales solubles en los agregados reciclados suele estar el hidróxido cálcico (portlandita) en el agregado de concreto y sulfatos en el agregado reciclado cerámico.

Se evaluó también la reactividad potencial de los agregados reciclados según la norma INV E 234-13. Se considera que los agregados analizados no son potencialmente reactivos, ya que su concentración de SiO_2 fue siempre menor a la reducción de alcalinidad R ($SiO_2 < R$) con valores de R mayores a 70 ($R>70$) para este caso.

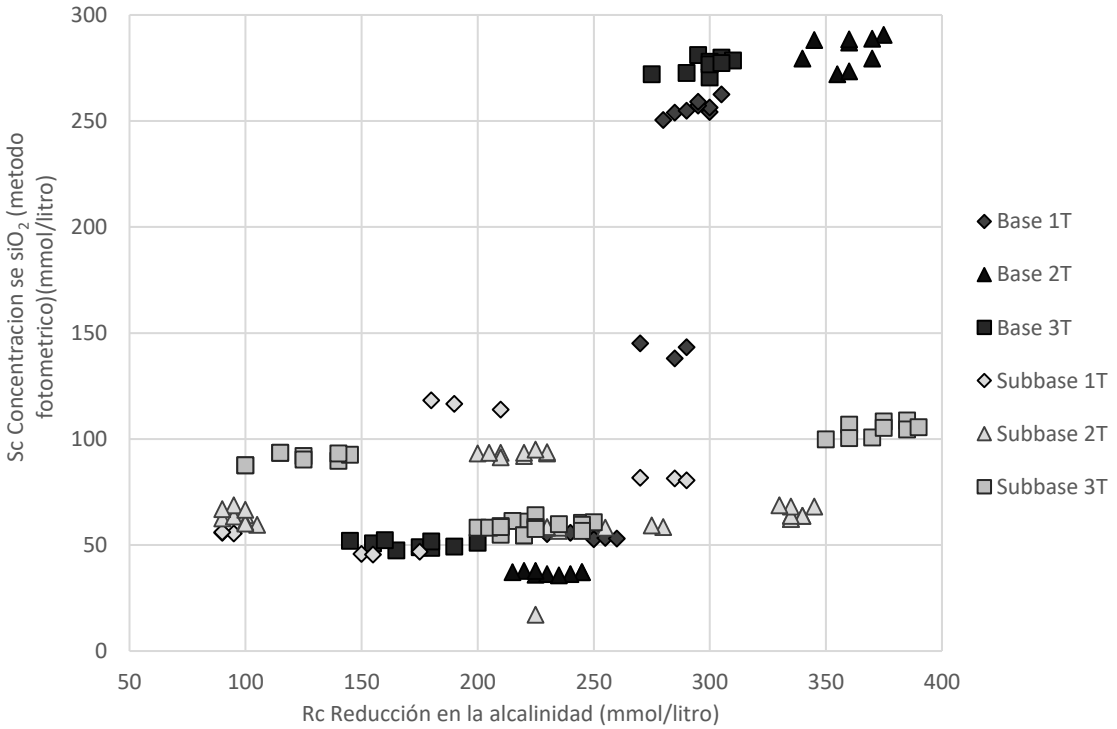


Ilustración 53. Resultados reportados en el ensayo INV E 234-13 Determinación de la reactividad potencial álcali–sílice de Agregados, para bases y Subbases en las tres temporalidades.

- Valor de azul de metileno en agregados finos **(INV E-235-13)**

Tabla 347. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-235-13. Azul de metileno (ml/g)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	5,00	-	10	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	5,00	-	10	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	5,00	-	10	Cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	14,91	-	10	No cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	6,65	-	10	Cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	17,33	-	10	No cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	8,32	-	10	Cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	5,66	-	10	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	3,32	-	10	Cumple
SBGC+RCD	P035(2)-4	1ra de Mayo	6,65	-	10	Cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	8,28	-	10	Cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	5,00	-	10	Cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	4,95	-	10	Cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	8,32	-	10	Cumple
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	8,98	-	10	Cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	12,31	-	10	No cumple
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	3,98	-	10	Cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	6,64	-	10	Cumple

Tabla 348. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-235-13. Azul de metileno (ml/g)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	5,00	-	10	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	5,00	-	10	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-235-13. Azul de metileno (ml/g)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	5,00	-	10	Cumple
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	3,32	-	10	Cumple
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	3,97	-	10	Cumple
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	3,99	-	10	Cumple
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	2,70	-	10	Cumple
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	2,80	-	10	Cumple
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	2,70	-	10	Cumple
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	4,98	-	10	Cumple
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	4,98	-	10	Cumple
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	4,99	-	10	Cumple
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	3,33	-	10	Cumple
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	3,31	-	10	Cumple
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	3,98	-	10	Cumple
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	6,66	-	10	Cumple
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	6,65	-	10	Cumple
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	6,66	-	10	Cumple

Tabla 349. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-235-13. Azul de metileno (ml/g)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	3,32	-	10	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	3,31	-	10	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-235-13. Azul de metileno (ml/g)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	3,32	-	10	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	5,00	-	10	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	5,00	-	10	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	5,00	-	10	Cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	3,32	-	10	Cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	3,32	-	10	Cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	3,31	-	10	Cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	8,30	-	10	Cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	6,70	-	10	Cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	5,00	-	10	Cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	2,60	-	10	Cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	2,70	-	10	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	2,70	-	10	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	3,33	-	10	Cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	3,33	-	10	Cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	3,33	-	10	Cumple

El objeto del ensayo del azul de metileno es el de caracterizar la actividad y naturaleza de los finos contenidos en las arenas y gravas, y también para determinar la presencia de arcillas en los finos de tamaños inferiores a 400 micras, para su empleo en materiales de bases, subbases y mezclas. Del análisis de los resultados, se obtuvo como valor promedio 5,3 ml/g con una desviación estándar de 3 ml/g, encontrando como valor mínimo 2,6 ml/g y como valor máximo 17.3 ml/g. Para la evaluación del azul de metileno solo el 6% de las muestras reportaron resultados fuera del límite de la Especificación, que fue establecido en 10 ml/g teniendo en cuenta recomendaciones internacionales como la GEAR, Es importante mencionar que sólo el 16% de las muestras presento valores menores a 8 ml/g, que es el parámetro máximo para agregados naturales vírgenes.

- Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influenciado por la forma de las partículas, la textura superficial y la granulometría) **(INV E-239-13)**

Tabla 350. Resultados obtenidos del ensayo INV E 239-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-239-13 Contenido de vacíos no compactados (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	42,0	35	-	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	42,0	35	-	Cumple
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	41,3	35	-	Cumple
BGA + RCD	P044-4	San Antonio	42,8	35	-	Cumple
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	41,0	35	-	Cumple
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	39,8	35	-	Cumple
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	42,3	35	-	Cumple
SBGA	P148-1	Ciclomat	40,1	35	-	Cumple
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	47,2	35	-	Cumple
SBGC + RCD	P044-2	San Antonio	41,9	35	-	Cumple
SBGC + RCD	P048-5	Av Bosa	41,3	35	-	Cumple
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	45,0	35	-	Cumple
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	46,8	35	-	Cumple
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	46,3	35	-	Cumple
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	46,6	35	-	Cumple
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	45,0	35	-	Cumple

Tabla 351. Resultados obtenidos del ensayo INV E 239-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-239-13 Contenido de vacíos no compactados (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	41,1	35	-	Cumple
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	40,7	35	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-239-13 Contenido de vacíos no compactados (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	41,6	35	-	Cumple
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	39,9	35	-	Cumple
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	40,1	35	-	Cumple
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	40,1	35	-	Cumple
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	53,1	35	-	Cumple
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	53,3	35	-	Cumple
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	53,1	35	-	Cumple
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	40,0	35	-	Cumple
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	39,6	35	-	Cumple
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	40,2	35	-	Cumple
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	45,1	35	-	Cumple
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	44,9	35	-	Cumple
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	44,9	35	-	Cumple
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	39,0	35	-	Cumple
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	38,0	35	-	Cumple
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	39,2	35	-	Cumple

Tabla 352. Resultados obtenidos del ensayo INV E 239-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-239-13 Contenido de vacíos no compactados (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	41,6	35	-	Cumple
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	41,5	35	-	Cumple
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	41,5	35	-	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	40,0	35	-	Cumple
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	39,7	35	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-239-13 Contenido de vacíos no compactados (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	40,9	35	-	Cumple
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	41,3	35	-	Cumple
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	41,1	35	-	Cumple
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	40,9	35	-	Cumple
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	72,9	35	-	Cumple
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	72,8	35	-	Cumple
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	72,9	35	-	Cumple
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	53,7	35	-	Cumple
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	54,2	35	-	Cumple
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	48,0	35	-	Cumple
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	42,8	35	-	Cumple
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	43,6	35	-	Cumple
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	43,9	35	-	Cumple

Del análisis de los resultados para el contenido de vacios de una muestra de agregado fino no compactados, se obtuvo como valor promedio 44,9% con una desviación estándar de 8,2%, encontrando como valor mínimo 38% y como valor máximo 73%. Por lo tanto, se evidencia que todas las muestras cumplen lo establecido en la Especificación para Angularidad del agregado fino.

- Proporción de partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos **(INV E-240-13)**

Tabla 353. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas (%)	INV E-240-13 Particulas alargadas (%)	INV E-240-13 Particulas planas y alargadas(%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	0,0	0	2

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas (%)	INV E-240-13 Particulas alargadas (%)	INV E-240-13 Particulas planas y alargadas(%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	0,0	0	1
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	0,0	0	2
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	0,0	0	1,2
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	0,0	0	0,2
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	0,0	0	0,1
SBGA	P148-1	Ciclomat	0,2	0	0,6
SBGB + RCD	P059-1	Ciclomat	0,1	0	0
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	0,4	0	0
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	0,0	0	0,3
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	0,0	0	0
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	0,0	0	0
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	0,0	0	0

Tabla 354. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas (%)	INV E-240-13 Particulas alargadas (%)	INV E-240-13 Particulas planas y alargadas(%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	0	0	1
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	0	0	1
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	0	0	1
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	0	0	0,1
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	0	0	0
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	0	0	0

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas (%)	INV E-240-13 Particulas alargadas (%)	INV E-240-13 Particulas planas y alargadas(%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	0	7	22
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	0	7	22
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	0	7	22
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	0	0	0
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	0	0	0
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	0	0	0
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	0	0	0
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	0	0	0
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	0	0	0
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	0	0	0
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	0	0	0
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	0	0	0

Tabla 355. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas (%)	INV E-240-13 Particulas alargadas (%)	INV E-240-13 Particulas planas y alargadas(%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	0	0	0
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	0	0	0
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	0	0	0
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	0	0	2
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	0	0	2
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	0	0	2

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas (%)	INV E-240-13 Particulas alargadas (%)	INV E-240-13 Particulas planas y alargadas(%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	0	0	0
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	0	0	0
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	0	0	0
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	0	0	3
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	0	0	3
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	0	0	3
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	0	7	24
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	0	6	24
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	0	7	24
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	0	0	0
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	0	0	0
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	0	0	0

Los resultados obtenidos respecto a partículas planas y alargadas con la norma de ensayo INV E 240-13, en general presentan valores bajos, lo que quiere decir que el 88% de las muestras reportó valores entre 0% y 3%, solo el material de un proveedor obtuvo valores entre 22% y 24%, en la segunda y tercera temporalidad, que represento el 12% de los resultados de la muestra total. Se observan datos más estables para las subbases, mientras que paras las bases según la temporalidad diferentes rangos fueron encontrados. En general la forma depende del tipo de trituración utilizado en el proceso de valorización del RCD, por lo que se considera que está ligado a los controles y procedimientos en las plantas de valorización y por lo tanto no es una característica restrictiva para el uso de agregados reciclados.

- Ensayo de clasificación de los componentes de los áridos gruesos reciclados **(UNE EN 933-11 :2009)**

Ilustración 54. Clasificación de los componentes de los áridos gruesos reciclados

Tabla 356. Resultados obtenidos del ensayo (UNE EN 933-11 :2009) para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

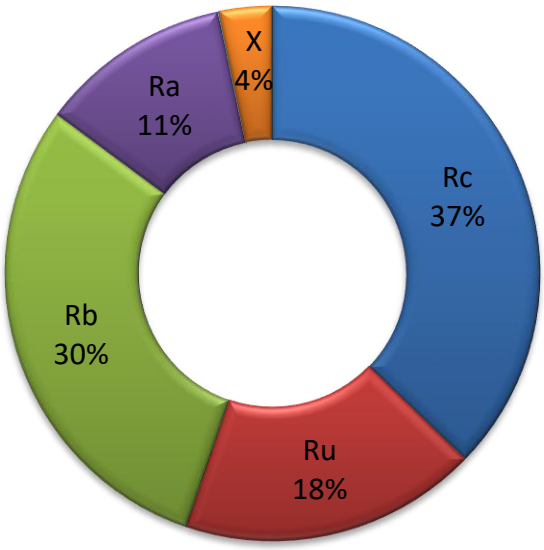
Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN 933-11:2009							
			FL (cm3/kg)	X (%)	Rc (%)	Ru (%)	Rb (%)	Ra (%)	Rg (%)	X (%)
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	0,8	64	4,4	80,1	13,3	0,1	0,1	2,0
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	0,4	71,8	4,9	78,5	14,1	0,4	0,1	2,0
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	0,8	74,6	5,6	77,2	15,2	0,0	0,0	2,0
BGA-B	P063-6	Reciclados industriales	0	21,9	88,5	6,3	2,6	1,5	0,0	1,1
BG-600	P063-3	Reciclados industriales	0	63,1	23,8	42,1	7,3	17,7	0,0	9,1
SBGA	P063-4	Reciclados industriales	0	60,8	74,8	14,4	1,8	6,4	0,0	2,6
SBGA	P148-1	Ciclomat	1,1	53,9	60,9	5,9	30,5	0,3	0,4	2,0
SBGC + RCD	P059-2	Ciclomat	1,2	55,4	25,2	9,8	61,5	0,4	0,1	3,0
SBGC + RCD	P063-5	Reciclados industriales	0	38,7	26,0	4,8	9,9	56,8	0,0	2,5
BG-200	P063-1	Reciclados industriales	--	--	--	--	--	--	--	--
BG-400	P063-2	Reciclados industriales	0	47,9	25,4	36,6	0,4	28,4	0,0	9,2
Arena T-5	P059-3	Ciclomat	1,4	46,8	1,8	7,3	85,7	0,3	0,0	4,9
Mxto 1/2"	P059-4	Ciclomat	0,8	63,0	16,7	15,3	26,1	2,9	0,1	38,9
Grava 1"	P059-5	Ciclomat	1	2,2	26,0	7,9	64,6	0,6	0,0	0,9

Tabla 357. Resultados obtenidos del ensayo (UNE EN 933-11 :2009) para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN 933-11:2009							
			FL (cm3/kg)	X (%)	Rc (%)	Ru (%)	Rb (%)	Ra (%)	Rg (%)	X (%)
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	0,6	26,8	26,5	18,2	52,1	0,0	0,1	3,1
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	0,3	25,0	27,0	17,5	52,6	0,2	0,2	2,5
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	0,3	23,1	27,3	17,1	53,2	0,2	0,1	2,1
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	0	68,0	62,3	14,2	1,4	20,9	0,0	1,2
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	0	62,3	67,2	15,7	3,5	12,5	0,0	1,1
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	0	70,4	62,7	12,3	2,6	20,9	0,0	1,5
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	0,8	65,3	24,1	13,6	58,4	0,6	0,1	3,2
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	0,4	64,5	21,0	11,3	64,1	0,4	0,4	2,8
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	4,5	67,3	20,2	10,2	64,5	0,6	0,1	4,4
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	0	74,4	36,8	23,0	2,2	33,9	0,0	4,1
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	0	77,8	52,3	19,3	1,5	25,1	0,0	1,8
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	0	75,0	45,9	20,5	2,1	30,2	0,0	1,3
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	0	51,9	35,1	17,7	17,0	27,7	0,0	2,5
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	0	55,7	31,4	22,3	12,9	31,2	0,0	2,2
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	0	74,9	32,7	18,9	14,4	28,4	0,0	5,6
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	1,7	80,8	49,3	11,8	26,9	1,0	0,3	10,7
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	0,9	77,8	61,9	5,4	29,7	1,1	0,0	1,9
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	2,2	81,7	59,8	5,8	31,0	0,8	0,3	2,3

Tabla 358. Resultados obtenidos del ensayo (UNE EN 933-11 :2009) para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN 933-11:2009							
			FL (cm3/kg)	X (%)	Rc (%)	Ru (%)	Rb (%)	Ra (%)	Rg (%)	X (%)
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	0,9	67,2	77,9	15,2	4,6	2,1	0,0	0,2
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	0,8	77,0	75,8	11,2	8,2	3,8	0,0	1,0
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	1,1	66,2	71,7	20,3	5,7	1,1	0,2	1,0
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	0,9	100,9	19,5	18,9	54,7	0,3	0,3	6,3
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	1,4	102	19,7	18,1	55,6	0,4	0,1	6,1
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	0,9	99,2	19,5	17,4	58,0	0,4	0,0	4,7
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	0,4	48,1	48,2	18,9	10,3	20,7	0,0	1,9
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	0,4	69,4	47,0	18,0	10,5	20,6	0,0	3,9
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	0,4	67,5	44,9	19,9	8,8	22,5	0,0	3,9
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	1,1	56,1	17,7	9,2	67,5	2,6	0,3	2,7
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	2,0	63,3	17,8	8,2	66,3	3,4	0,2	4,1
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	2,0	60,0	17,6	10,0	66,4	2,3	0,2	3,5
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	2,8	68,9	23,8	7,1	63,2	0,6	0,0	5,3
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	2,1	49,3	22,7	6,0	63,8	2,4	0,0	5,1
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	1,9	58,2	24,5	8,5	59,9	1,7	0,2	5,2
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	0,6	61,8	46,1	2,8	10,3	38	0,1	2,7
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	1,2	76,3	40,7	2,9	9,2	44,7	0,1	2,4
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	1,3	77,5	46,2	1,8	8,0	42,9	1,2	-0,1



Rc	Concreto, productos de concreto, mortero y unidades de albañileria de concreto
Ru	Agregados no tratados, piedra natural, agregados tratados con cementantes hidráulicos
Rb	Unidades de albañilería de arcilla (ladrillos, tejas)
Ra	Material bituminoso
X	Otros: acero, plástico, madera, caucho, yeso

Ilustración 55. Composición general en masa de los agregados reciclados AR mixtos producto de RCD.

De manera general en la Ilustración 55 se presenta el promedio de la composición en masa de los agregados reciclados AR mixtos, obtenida mediante la ejecución de la norma de ensayo EN 933-11 Composición de los agregados gruesos reciclados de sobre los que se realizaron los ensayos de laboratorio, observando que el material esta compuesto en mayor parte, por un 37% por agregados que tienen como origen concreto o mortero y un 30% por agregados que tienen como origen materiales cerámicos, como ladrillos, dentro del 33% restante se encuentran agregados naturales (18%) y agregados con asfalto (12%); en promedio se encontró un 3% de materiales clasificados como otros, donde encontramos residuos de acero, plástico, madera, caucho, yeso, etc. El vidrio (Rg) represento sólo el 0,1% en la composición del agregado reciclado, por lo que no es señalado en la ilustración.

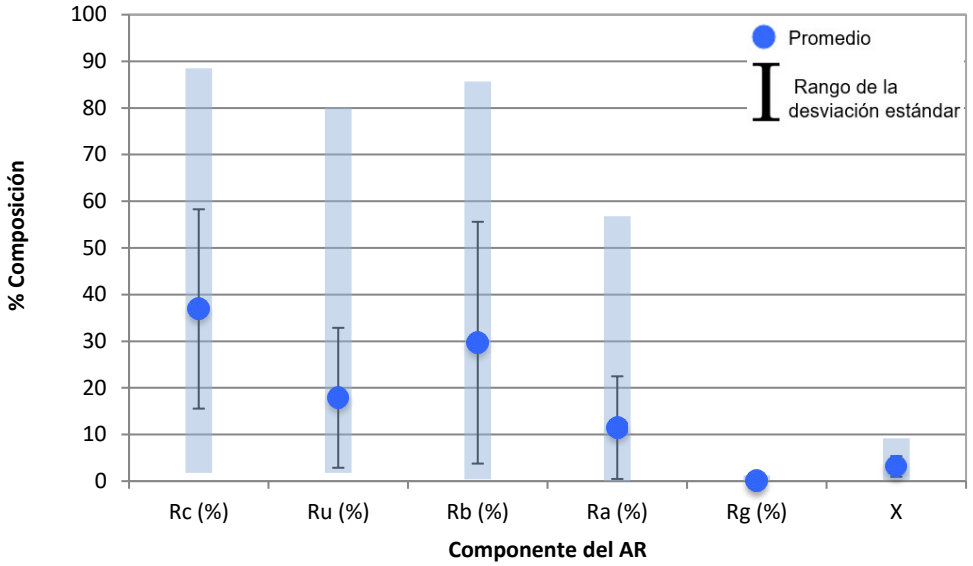


Ilustración 56. Resultados de composición de los agregados reciclados AR mixtos producto de RCD con desviación.

Algunos promedios obtenidos tienen una desviación significativa, por ejemplo, para los materiales cerámicos y de concreto con valores promedio de Rb 30% y Rc 37%, se han obtenido valores de 26% y 22% de desviación respectivamente, como se observa en lallustración 56.

Los resultados para materiales naturales (Ru) y asfalto (Ra) tienen mayor desviación respecto a su promedio; cuando analizamos los resultados del asfalto, la media de todos los datos es 11% con una desviación de 15%, por lo que se hace necesario una revisión más profunda respecto a las temporalidades y las clasificaciones, como la que se observa en la Ilustración 57, donde se presentan los resultados obtenidos respecto a la composición de los agregados por temporalidad. Es importante observar los promedios, la desviación y los valores máximos y mínimos para los materiales que componen el agregado reciclado, además en la ilustración se observa la clasificación del material reciclado como base o subbase, donde se puede apreciar la variación en el contenido de material natural (Ru), que solo para la primera temporalidad tiene altos contenidos en las muestras de base (hasta 80%) pero en las demás temporalidades y clasificaciones reporto valores de máximo 23%. También la cantidad de material asfaltico presento valores diferenciados según la temporalidad y el tipo de material (Base o Subbase) encontrando por ejemplo 56,8% máximo de material asfaltico para subbases en la primera temporalidad y máximo 4% en la tercera temporalidad de las Bases.

Se puede decir de manera general que los agregados clasificados como base presentaron en promedio 39.4% Rc, 28.7% Ru y 22.5% de Rb, mientras que los clasificados como subbase, presentaron contenidos de 37.7% Rc, 11.7% Ru, 31.2% Rb y 16.0% Ra.

Por lo tanto, se hace evidente en procura de la estandarización definir rangos para los diferentes materiales que componen el agregado reciclado y que pueden además establecer tendencias en las características esperadas sobre sus propiedades.
Por otro lado, la norma discrimina durante el ensayo las partículas flotantes (FL), donde también incluye plásticos, maderas y elementos que flotan en el agua, para este caso el máximo valor obtenido fue de 4,5 cm^3/kg, pero el promedio fue de 0,84 cm^3/kg con una desviación estándar de 0,89 para las 49 muestras ensayadas.

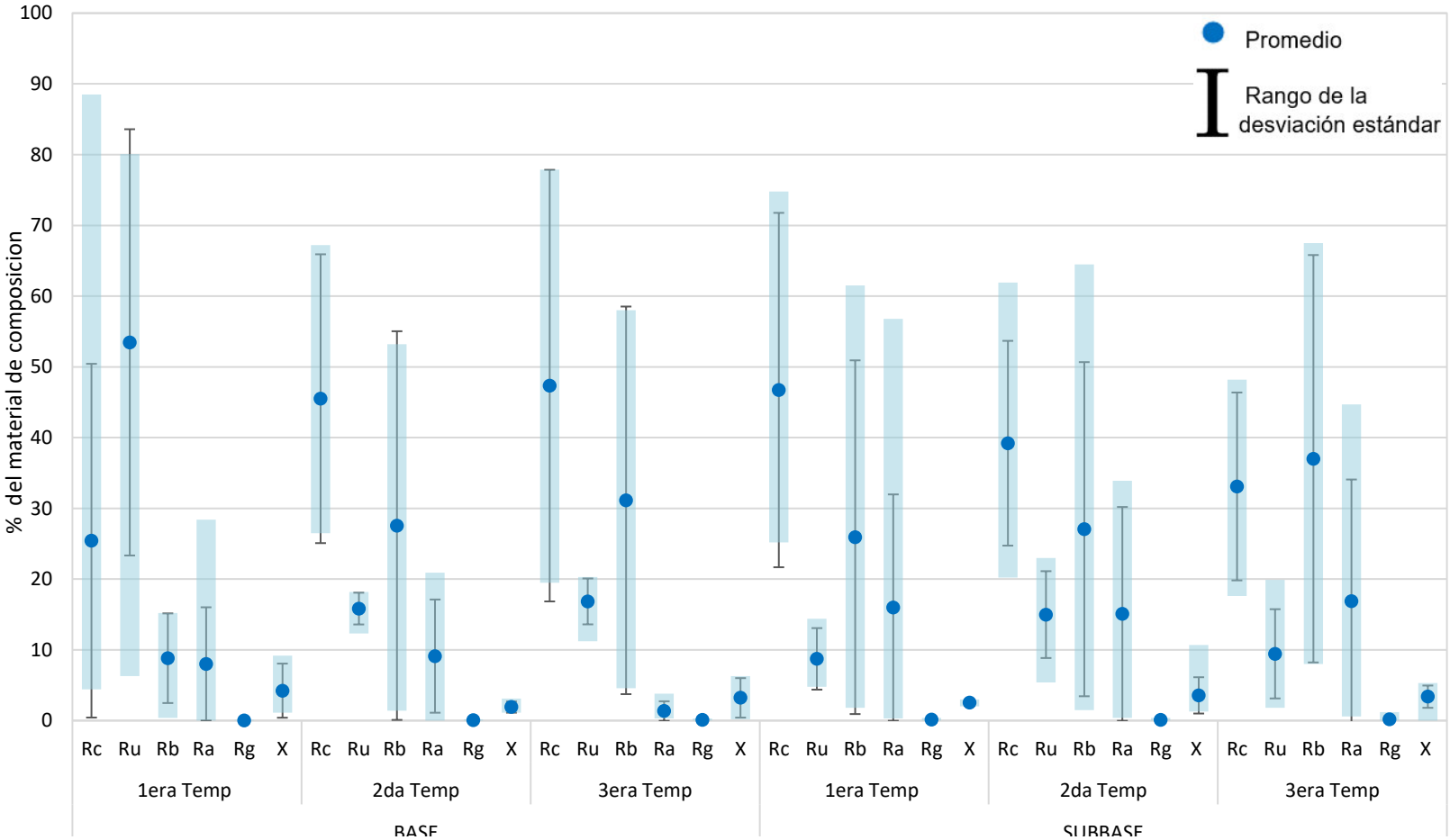


Ilustración 57. Resultados medios, máximos y mínimos obtenidos para cada material que compone el agregado reciclado grueso, siguiendo el ensayo de la norma UNE EN 933-11:2009.

Intentando buscar correlaciones entre los componentes de los agregados reciclados y sus propiedades, teniendo en cuenta las temporalidades, se analiza la composición contra el coeficiente de los ángeles por ser uno de los que puede caracterizar el agregado; se ha eliminado de las gráficas el componente vidrio (Rg) por tener valores entre 0,0 y 0,4. Por lo tanto, se presenta la Ilustración 58 y la Ilustración 59, donde se evidencia que en las muestras recibidas para la primera temporalidad, las bases tienen una mayor cantidad de agregado natural y de concreto (Rc y Ru), sin embargo no ocurre lo mismo para la segunda y tercerea temporalidad, donde se observan contenidos de cerámico (Rb) mayores, de hasta 60% y hasta 20% de agregado natural (Ru). Mientras que para la subbase en la primera y tercera temporalidad los porcentajes de agregado natural no superan el 20%, encontrándose mayores porcentajes de agregados reciclados cerámicos (Rb de hasta 70%), de concreto y de asfalto. Comportamiento que no puede ser del todo generalizado, si se observan las características de la segunda y tercera temporalidad. El mayor contenido de materiales varios (X) fue de 10,7% en la segunda temporalidad. El contenido de asfalto (Ra) fue muy variable a lo largo de las tres temporalidades, encontrándose los máximos valores para las subbases, que han llegado hasta 56,8%, sin embargo, se ha observado que los altos porcentajes en contenido de asfalto hacen referencia solo a un proveedor, ya que los otros presentan en general valores máximos menores a 3,5% en todas las temporalidades.

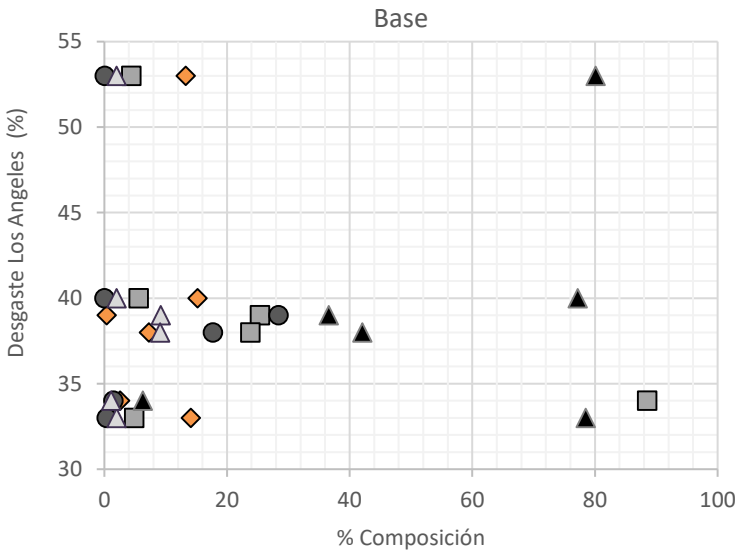


Ilustración 58. Resultados de composición de los materiales del agregado grueso reciclado contra el coeficiente de los ángeles en la primera temporalidad para la Base.

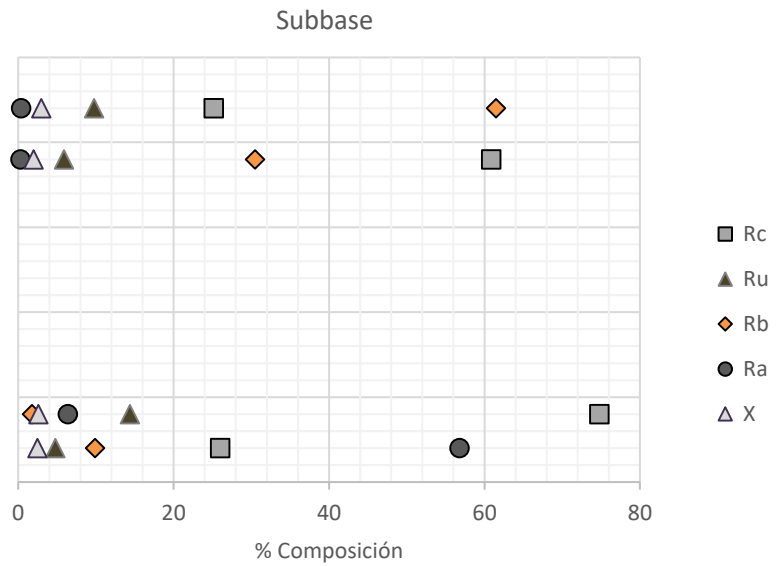


Ilustración 59. Resultados de composición de los materiales del agregado grueso reciclado contra el coeficiente de los ángeles en la primera temporalidad para la Subbase.

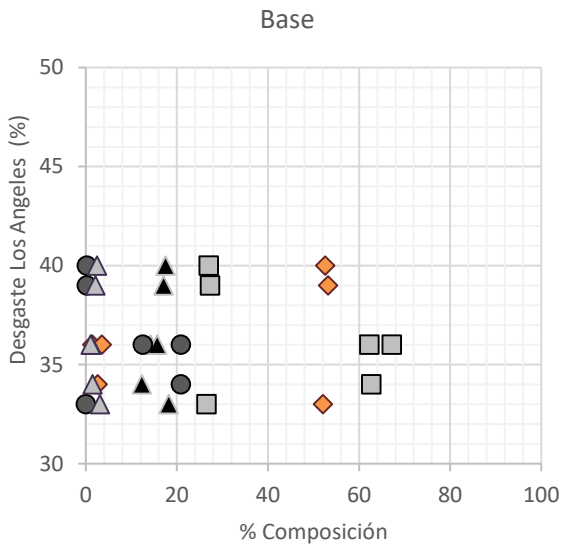


Ilustración 60. Resultados de composición de los materiales del agregado grueso reciclado contra el coeficiente de los ángeles en la segunda temporalidad para la Base.

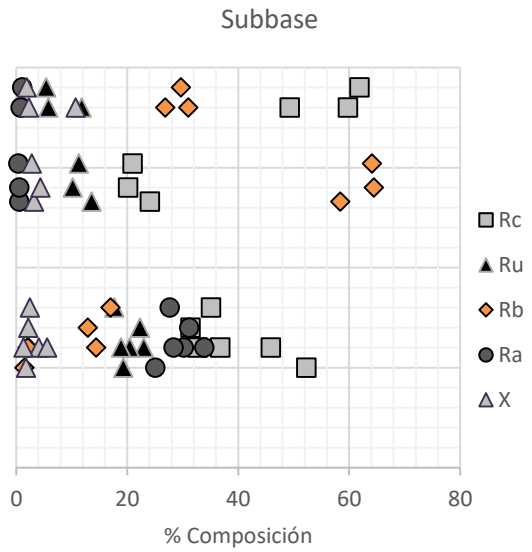


Ilustración 61. Resultados de composición de los materiales del agregado grueso reciclado contra el coeficiente de los ángeles en la segunda temporalidad para la Subbase.

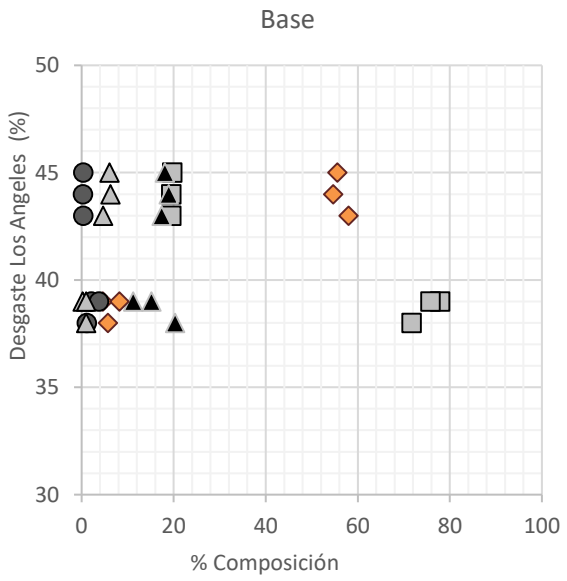
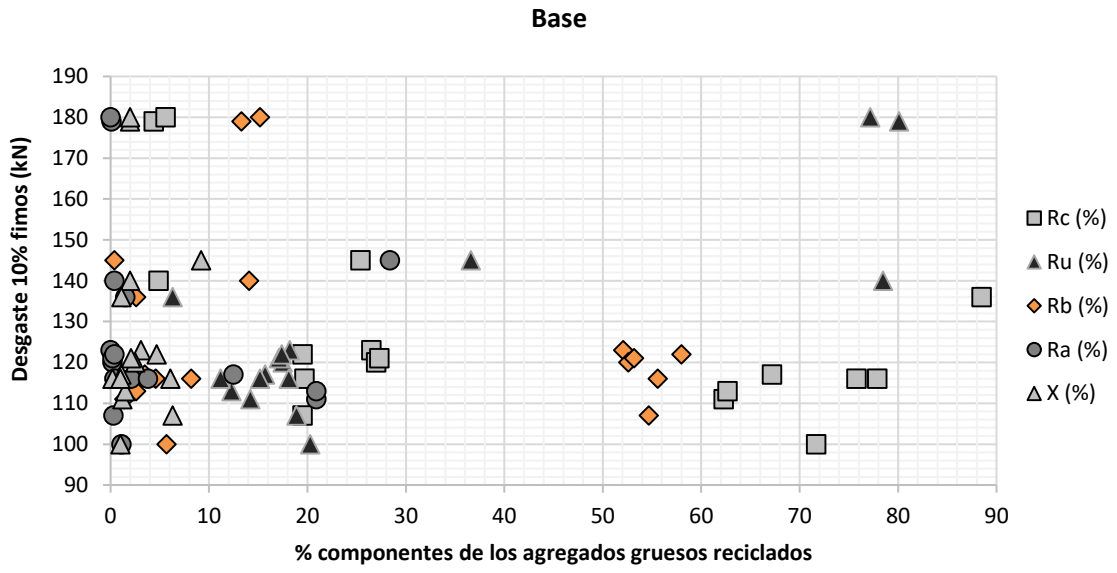
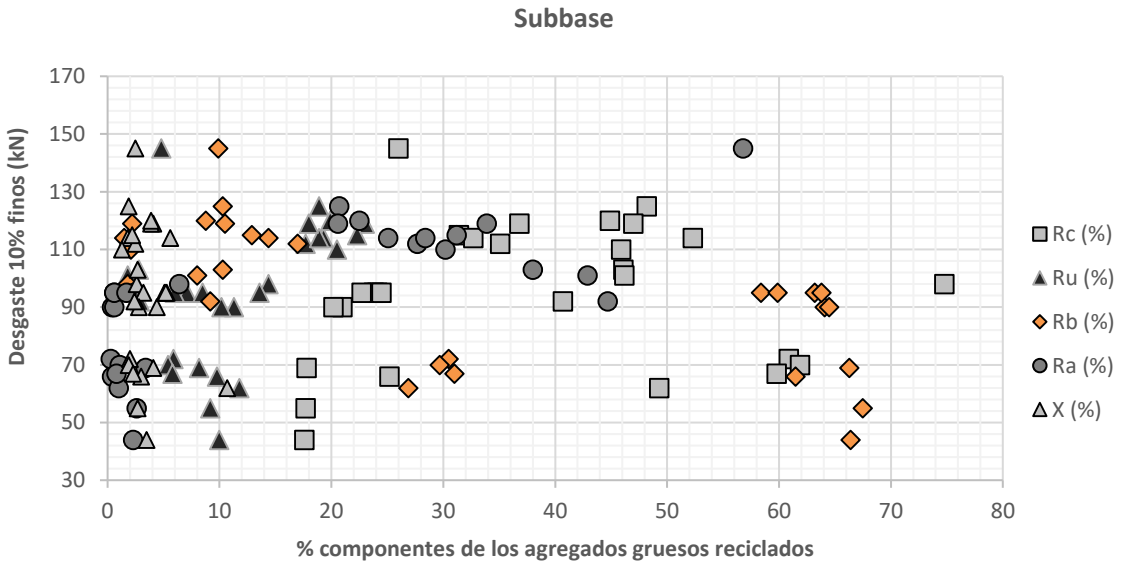


Ilustración 62. Resultados de composición de los materiales del agregado grueso reciclado contra el coeficiente de los ángeles en la tercera temporalidad para la Base.

Ilustración 63. Resultados de composición de los materiales del agregado grueso reciclado contra el coeficiente de los ángeles en la tercera temporalidad para la Subbase.

Teniendo en cuenta que, a partir de la evaluación del coeficiente de los ángeles diferenciado por temporalidades, no se encontró una tendencia clara, se presenta en la tabla a continuación la carga máxima obtenida en el ensayo del 10% de finos relacionada con los diferentes materiales que componen el agregado reciclado, diferenciando de las muestras obtenidas para base y subbase.





De acuerdo con la bibliografía y las recomendaciones internacionales respecto a los agregados reciclados, lo más importante es lograr establecer una clasificación de los materiales que lo componen para entender sus propiedades e intentar caracterizar su comportamiento, por lo que se decide realizar clasificaciones en función de la composición y uso del agregado reciclado.

Al ser esta una especificación que promueve el uso de los agregados reciclados de residuos de construcción y demolición RCD, se permite un mayor uso de agregados reciclados

mixtos con composición cerámica, de manera que no se requiere adicionar agregados naturales (vírgenes) para hacer que el agregado cumpla otros parámetros.

Se entiende que el deber ser va hacia el aprovechamiento de RCD, y que los agregados naturales (vírgenes) pueden enfocarse a otros usos más exigentes. Adicionalmente las recomendaciones internacionales también apuntan a dejar los reciclados de asfalto en construcción de nuevas capas de asfalto y limitar los contenidos de este material (Ra) para los agregados reciclados de RCD.

- Ensayo de lixiviación **(SM 3120 B)** y SPLP - Extracción de metales pesados **(EPA SW 846 1312)**

Tabla 359. Resultados obtenidos del ensayo SM 3120 B para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	EPA SW-846 1312 Y S.M 3120 B Análisis fisicoquímico SPLP											
			Bario (Ba) (mg Ba/L)	Cadmio (Cd) (mg Cd/L)	Cromo (Cr) (mg Cr/L)	Cobre (Cu) (mg Cu/L)	Molibdeno (Mo) (mg Mo/L)	Níquel (Ni) (mg Ni/L)	Plomo (Pb) (mg Pb/L)	Antimonio (Sb) (mg Sb/L)	Zinc (Zn) (mg Zn/L)	Mercurio (Hg) (mg Zn/L)	Arsénico (As) (mg Sb/L)	Selenio (Se) (mg Zn/L)
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002

Tabla 360. Resultados obtenidos del ensayo SM 3120 B para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	EPA SW-846 1312 Y S.M 3120 B Análisis fisicoquímico SPLP											
			Bario (Ba) (mg Ba/L)	Cadmio (Cd) (mg Cd/L)	Cromo (Cr) (mg Cr/L)	Cobre (Cu) (mg Cu/L)	Molibdeno (Mo) (mg Mo/L)	Níquel (Ni) (mg Ni/L)	Plomo (Pb) (mg Pb/L)	Antimonio (Sb) (mg Sb/L)	Zinc (Zn) (mg Zn/L)	Mercurio (Hg) (mg Zn/L)	Arsénico (As) (mg Sb/L)	Selenio (Se) (mg Zn/L)
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	EPA SW-846 1312 Y S.M 3120 B Análisis fisicoquímico SPLP											
			Bario (Ba) (mg Ba/L)	Cadmio (Cd) (mg Cd/L)	Cromo (Cr) (mg Cr/L)	Cobre (Cu) (mg Cu/L)	Molibdeno (Mo) (mg Mo/L)	Níquel (Ni) (mg Ni/L)	Plomo (Pb) (mg Pb/L)	Antimonio (Sb) (mg Sb/L)	Zinc (Zn) (mg Zn/L)	Mercurio (Hg) (mg Zn/L)	Arsénico (As) (mg Sb/L)	Selenio (Se) (mg Zn/L)
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	<0,02	<0,05	0,0323	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	0,024	<0,02	<0,002	<0,002	0,0261
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	<0,02	<0,05	0,0317	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	0,0235	<0,02	<0,002	<0,002	0,0283
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	<0,02	<0,05	0,0323	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	0,024	<0,02	<0,002	<0,002	0,0281
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002

Tabla 361. Resultados obtenidos del ensayo SM 3120 B para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	EPA SW-846 1312 Y S.M 3120 B Análisis fisicoquímico SPLP											
			Bario (Ba) (mg Ba/L)	Cadmio (Cd) (mg Cd/L)	Cromo (Cr) (mg Cr/L)	Cobre (Cu) (mg Cu/L)	Molibdeno (Mo) (mg Mo/L)	Níquel (Ni) (mg Ni/L)	Plomo (Pb) (mg Pb/L)	Antimonio (Sb) (mg Sb/L)	Zinc (Zn) (mg Zn/L)	Mercurio (Hg) (mg Zn/L)	Arsénico (As) (mg Sb/L)	Selenio (Se) (mg Zn/L)
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	0,0826	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	0,0844	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	EPA SW-846 1312 Y S.M 3120 B Análisis fisicoquímico SPLP											
			Bario (Ba) (mg Ba/L)	Cadmio (Cd) (mg Cd/L)	Cromo (Cr) (mg Cr/L)	Cobre (Cu) (mg Cu/L)	Molibdeno (Mo) (mg Mo/L)	Níquel (Ni) (mg Ni/L)	Plomo (Pb) (mg Pb/L)	Antimonio (Sb) (mg Sb/L)	Zinc (Zn) (mg Zn/L)	Mercurio (Hg) (mg Zn/L)	Arsénico (As) (mg Sb/L)	Selenio (Se) (mg Zn/L)
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	0,0838	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	0,0763	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	0,0746	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	0,0769	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	0,066	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	EPA SW-846 1312 Y S.M 3120 B Análisis fisicoquímico SPLP											
			Bario (Ba) (mg Ba/L)	Cadmio (Cd) (mg Cd/L)	Cromo (Cr) (mg Cr/L)	Cobre (Cu) (mg Cu/L)	Molibdeno (Mo) (mg Mo/L)	Níquel (Ni) (mg Ni/L)	Plomo (Pb) (mg Pb/L)	Antimonio (Sb) (mg Sb/L)	Zinc (Zn) (mg Zn/L)	Mercurio (Hg) (mg Zn/L)	Arsénico (As) (mg Sb/L)	Selenio (Se) (mg Zn/L)
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	0,0652	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	0,0675	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002

Tabla 362. Resultados obtenidos del ensayo EPA SW 846 1312para el material residuos de construcción y demolición Primera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	SPLP - Extracción de metales pesados (pH de la extracción)
			Resultados Obtenidos
Base Tipo A Mezcla	P031-2_1	GRECO	4,2
Base Tipo A Mezcla	P031-2_2	GRECO	
Base Tipo A Mezcla	P031-2_3	GRECO	

Tabla 363. Resultados obtenidos del ensayo EPA SW 846 1312para el material residuos de construcción y demolición Segunda Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	SPLP - Extracción de metales pesados (pH de la extracción)
			Resultados Obtenidos
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_1	GRECO	4,2
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_2	GRECO	
Base Tipo A 0-25 H	P031-1_3	GRECO	
BGA	P133-1_1	Reciclados industriales	4,2
BGA	P133-1_2	Reciclados industriales	
BGA	P133-1_3	Reciclados industriales	
SBGA	P022-1_1	Ciclomat	4,2
SBGA	P022-1_2	Ciclomat	
SBGA	P022-1_3	Ciclomat	
SBGA	P133-2_1	Reciclados industriales	4,2
SBGA	P133-2_2	Reciclados industriales	
SBGA	P133-2_3	Reciclados industriales	
SBGC	P133-3_1	Reciclados industriales	4,2
SBGC	P133-3_2	Reciclados industriales	
SBGC	P133-3_3	Reciclados industriales	

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	SPLP - Extracción de metales pesados (pH de la extracción)
			Resultados Obtenidos
SBGC	P148-2_1	Ciclomat	4,2
SBGC	P148-2_2	Ciclomat	
SBGC	P148-2_3	Ciclomat	

Tabla 364. Resultados obtenidos del ensayo EPA SW 846 1312para el material residuos de construcción y demolición Tercera Temporalidad

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	SPLP - Extracción de metales pesados (pH de la extracción)
			Resultados Obtenidos
BGA	P024-1_1	Reciclados industriales	4,2
BGA	P024-1_2	Reciclados industriales	
BGA	P024-1_3	Reciclados industriales	
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_1	GRECO	4,2
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_2	GRECO	
Base Tipo A 0-40 H	P031-3_3	GRECO	
SBGA	P023-1_1	Reciclados Industriales	4,2
SBGA	P023-1_2	Reciclados industriales	
SBGA	P023-1_3	Reciclados industriales	
SBGA	P30-1_1	Ciclomat	4,2
SBGA	P30-1_2	Ciclomat	
SBGA	P30-1_3	Ciclomat	
SBGC	P022-2_1	Ciclomat	4,2
SBGC	P022-2_2	Ciclomat	
SBGC	P022-2_3	Ciclomat	
SBGC	P024-2_1	Reciclados industriales	4,2
SBGC	P024-2_2	Reciclados industriales	
SBGC	P024-2_3	Reciclados industriales	

Con el propósito de evaluar la concentración de potenciales contaminantes presentes en los agregados reciclados de residuos de construcción y demolición RCD se realizaron ensayos de lixiviados, EPA SW-846 1312 Y S.M 3120 B Análisis fisicoquímico SPLP - Extracción de metales pesados (pH de la extracción) y en ningún caso se sobrepasaron los valores indicativos de evaluación B establecidos en la Ley 1/2005, de 4 de febrero como se observa en la Tabla 365. Estos ensayos fueron realizados para evaluar la existencia de algún tipo de contaminación del suelo y/o el agua, teniendo en cuenta que la procedencia de los agregados reciclados depende de la adecuada gestión de terceros.

Tabla 365. Valores valores indicativos de evaluación B establecidos en la Ley 1/2005, de 4 de febrero

Metales evaluados en los agregados reciclados											
Bario (Ba) (mg Ba/L)	Cadmio (Cd) (mg Cd/L)	Cromo (Cr) (mg Cr/L)	Cobre (Cu) (mg Cu/L)	Molibdeno (Mo) (mg Mo/L)	Níquel (Ni) (mg Ni/L)	Plomo (Pb) (mg Pb/L)	Antimonio (Sb) (mg Sb/L)	Zinc (Zn) (mg Zn/L)	Mercurio (Hg) (mg Zn/L)	Arsénico (As) (mg Sb/L)	Selenio (Se) (mg Zn/L)
<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002

H.3.5.16 SUBBASE GRANULAR ADICIONADA CON RAP

Verificación del Diseño óptimo

- Equivalente de arena de suelos y agregados finos **(INV E-133-13)**

Tabla 366. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-133-13. Equivalente de arena (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SGC 66%+Pav asfal Rec 34%	P029-1	PUJ	49	22	-	Cumple
SGC 59%+Pav asfal Rec 41%	P029-2	PUJ	47	22	-	Cumple

Las dos muestras cumplieron con lo especificado para el Equivalente de Arena. La presencia de partículas finas puede reducir significativamente la resistencia a las cargas de los vehículos en las capas de Base y Subbase granular. Los valores especificados por el

IDU son bajos comparados con los especificados por el Invías y por la especificación española PG3, para estos materiales. Por lo anterior, y aunque los materiales ensayados cumplieron con este requisito para una Subbase convencional, se considera pertinente incrementar los valores especificados.

- Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación) (**INV E-142-13)**

Tabla 367. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-142-13 Peso unitario optimo (KN/m3)	INV E-142-13 Humedad optima (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SGC 66%+Pav asfal Rec 34%	P029-1	PUJ	20,31	6,6
SGC 59%+Pav asfal Rec 41%	P029-2	PUJ	20,31	5,5

- CBR de suelos compactados en el laboratorio (**INV E-148-13).**

Tabla 368. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Penetración al crítico (%)				
			Resultados Obtenidos	% Referido gd_max	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
SGC 66%+Pav asfal Rec 34%	P029-1	PUJ	116,00	95,00	30,00	-	Cumple
SGC 59%+Pav asfal Rec 41%	P029-2	PUJ	107,00	95,00	60,00	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 Expansión Total (%)
			Resultados Obtenidos
SGC 66%+Pav asfal Rec 34%	P029-1	PUJ	0,44
SGC 59%+Pav asfal Rec 41%	P029-2	PUJ	0,66

Las dos muestras ensayadas arrojaron valores por encima de lo especificado para una Subbase granular convencional, cumpliendo con este parámetro. El Invías especifica algunos valores ligeramente inferiores a los especificados por el IDU; por otro lado, y teniendo en cuenta el aporte en estabilidad de la estructura de pavimento que ofrecen las capas granulares, se considera que los valores especificados para este parámetro no deben ser modificados.

- Módulo Resiliente de suelos y agregados **(INV E-156-13).**

Tabla 369. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E 156-13 Módulo resiliente ($M_R=k_1\theta_{k2}$ MPa)			
			k_1	k_2	θ (kPa)	M_R (MPa)
SGC 66%+Pav asfal Rec 34%	P029-1	PUJ	15,6	0,3892	82,89	87,3
SGC 59%+Pav asfal Rec 41%	P029-2	PUJ	22,7	0,3490	82,89	105,99

Este parámetro no está especificado en las especificaciones actuales del IDU. Para estos materiales se puede especificar los mismos requisitos de módulo resiliente que se planean para las Bases y Subbases granulares.

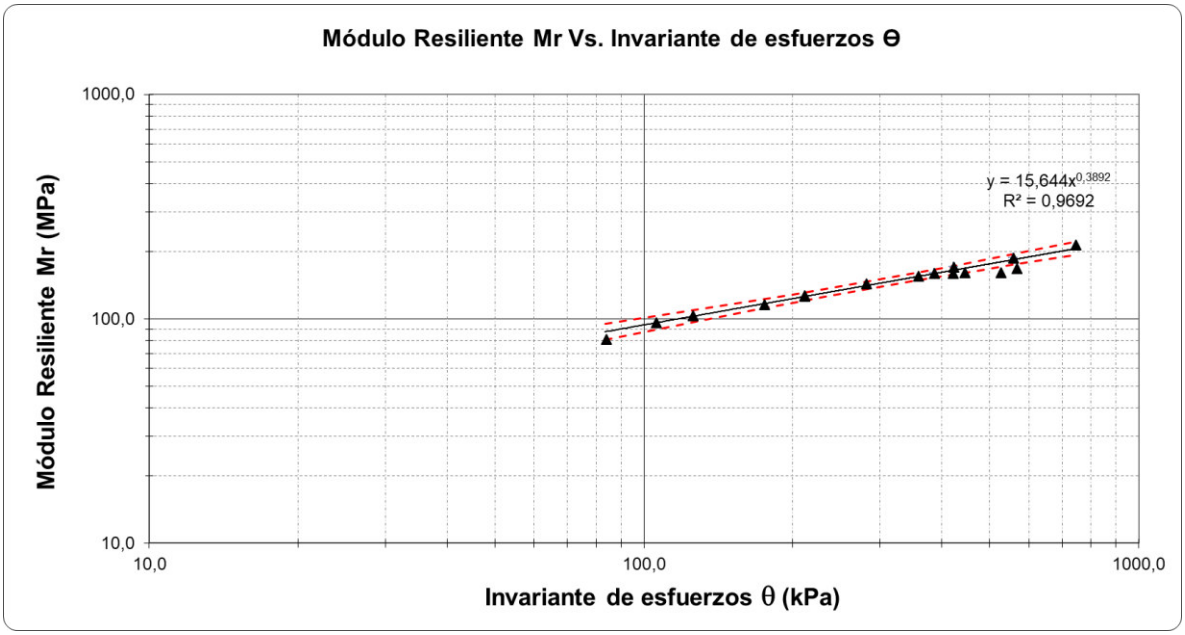


Ilustración 64. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P029-1

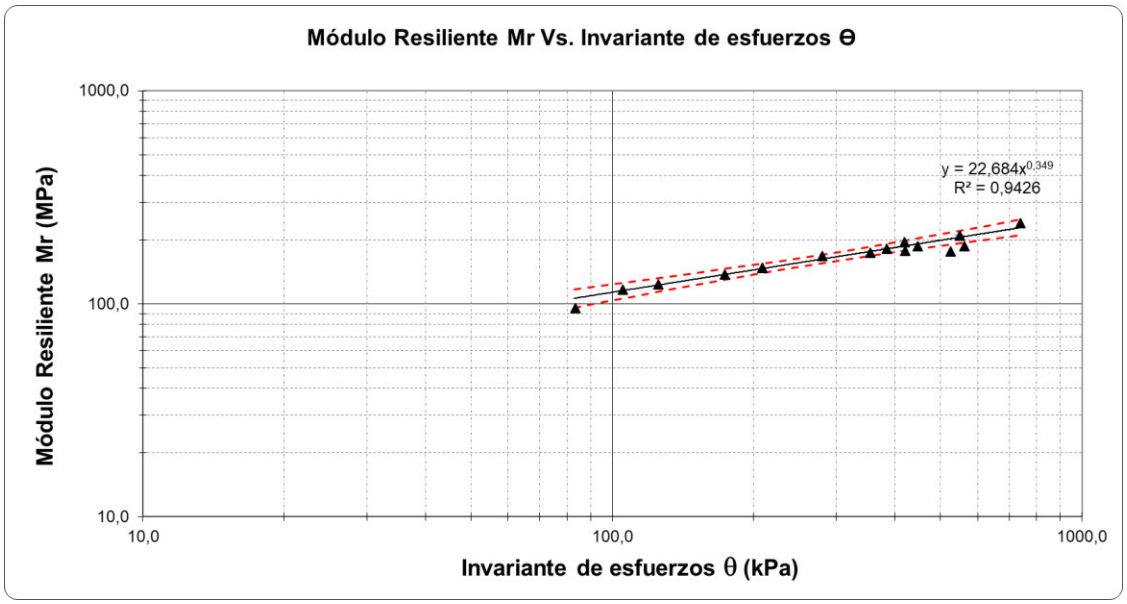


Ilustración 65. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P029-2

- Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles **(INV E-218-13).**

Tabla 370. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-218-13. Desgaste (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SGC 66%+Pav asfal Rec 34%	P029-1	PUJ	36	-	45,00	Cumple
SGC 59%+Pav asfal Rec 41%	P029-2	PUJ	37	-	40,00	Cumple

Las dos muestras ensayadas arrojaron valores por debajo de lo especificado para una Subbase granular, cumpliendo con este parámetro. Es importante tener en cuenta que las partículas deben tener la resistencia suficiente para resistir la degradación o el fracturamiento durante la construcción, y bajo las cargas de compactación y del tráfico. Los valores especificados por el IDU para Subbases granulares son ligeramente más exigentes que los del Invías, e iguales para Base granulares; así las cosas, no se considera necesario modificar los valores especificados por el IDU para las Subbases granulares.

- Determinación del valor del 10% de finos **(INV E-224-13).**

Tabla 371. Resultados obtenidos del ensayo INV E 224-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-224-13. 10% de finos - Valor en seco (kN)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SGC 66%+Pav asfal Rec 34%	P029-1	PUJ	94	40,00	-	Cumple
SGC 59%+Pav asfal Rec 41%	P029-2	PUJ	58	60,00	-	No cumple

La muestra P029-2 no cumplió con el requisito para el 10% de finos, obteniendo un valor cercano al especificado (58% de 60%); el posible incumplimiento de este parámetro pudo ser debido a la calidad de las partículas en el RAP. Es importante tener en cuenta que las

partículas deben tener la resistencia suficiente para resistir la degradación o el fracturamiento durante la construcción, y bajo las cargas de compactación y del tráfico. No se considera necesario modificar los valores especificados por el IDU para las Subbases granulares.

- Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso **(INV E-227-13)**

Tabla 372. Resultados obtenidos del ensayo INV E 227-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-227-13 Caras fracturadas (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SGC 66%+Pav asfal Rec 34%	P029-1	PUJ	100	50,00	-	Cumple
SGC 59%+Pav asfal Rec 41%	P029-2	PUJ	100	50,00	-	Cumple

Las dos muestras ensayadas cumplirían con este requisito para una Subbase granular Clase A; para las demás clases, este parámetro no está especificado en Subbases granulares. Para las capas granulares de Base y Subbase, se prefiere el uso de agregados angulares, casi equidimensionales con una textura de superficie rugosa, con el fin de asegurar un alto grado de fricción interna y resistencia al deslizamiento del agregado. Teniendo en cuenta que la función de las capas de Subbase granular es ofrecer una transición entre la subrasante y la Base granular, se considera pertinente conservar el parámetro especificado para tránsitos altos; en este sentido se aclara que el Invías no especifica este parámetro para las capas de Subbase granular, y la FHWA sí especifica un valor mínimo de 50%. Así las cosas, no se considera necesario modificar los valores especificados en Subbases granulares.

- Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato desgaste utilizando el equipo Micro-Deval **(INV E-238-13).**

Tabla 373. Resultados obtenidos del ensayo INV E 238-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-238-13 Micro-Deval (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 510-18
SGC 66%+Pavasfal Rec 34%	P029-1	PUJ	21,5	-	35,00	Cumple
SGC 59%+Pavasfal Rec 41%	P029-2	PUJ	25,4	-	30,00	Cumple

Las dos muestras cumplieron con este requisito. Sin embargo, se está planteado revaluar los valores máximos especificados para abrasión para los materiales de Subbase y Base. Este parámetro estima la resistencia del agregado grueso a la abrasión y degradación mecánica durante la manipulación, construcción, y puesta en servicio de las capas conformadas. Como conclusión, se plantea ajustar el valor especificados para la Subbase granular clase C.

- Proporción de partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos **(INV E-240-13)**

Tabla 374. Resultados obtenidos del ensayo INV E 240-13 para el material Subbase granular adicionada con RAP

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas planas (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 510-18
SGC 66%+Pavasfal Rec 34%	P029-1	PUJ	0	-	20,00	Cumple
SGC 59%+Pavasfal Rec 41%	P029-2	PUJ	0	-	20,00	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-240-13 Particulas alargadas (%)	INV E-240-13 Particulas planas y alargadas(%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
SGC 66%+Pav asfal Rec 34%	P029-1	PUJ	0	0
SGC 59%+Pav asfal Rec 41%	P029-2	PUJ	0	0

Las dos muestras ensayadas obtuvieron un valor de 0% para este parámetro. Las especificaciones del IDU e Invías no contempla este ensayo de laboratorio para determinar el porcentaje de partículas planas y alargadas, teniéndose en cuenta el ensayo en la norma INV E-230-13 para determinar los índices de alargamiento y aplanamiento. Especificaciones internacionales demandan, en materiales para Base y Subbase, valores menores de 20% para relaciones 1:3. Los ensayos a las dos muestras se realizaron con una relación ancho-espesor (partículas planas), y longitud-ancho (partículas alargadas), mayores a 5 (relación 1:5), la cual es mucho más crítica que para una relación 1:3, lográndose valores de 0%, lo que indica que este material es apto para ser utilizado en Subbases granulares.

H.3.5.17 SUBBASE GRANULAR ADICIONADAS CON RCD

Estos materiales provienen de RCD de concreto, por lo que estos son denominados agregados reciclados de concreto (Rc) y presentan unas condiciones diferentes a los agregados rerciclados mixtos. En este caso a diferencia del anaálsis sobre los agregados reciclados mixtos, no se conto con una amplia campaña de muestreo y ensayo, sin embargo, permite conocer de manera preliminar este material.

- Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado (**INV E-122-13**).

Tabla 375. Resultados obtenidos del ensayo INV E 122-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-122-13 Humedad natural (%)
			Resultados Obtenidos
Arena mal gradada con finos	P055-1	Reciclados Industriales	2,8
Grava mal gradada gris	P055-2	Reciclados Industriales	1,1

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-122-13 Humedad natural (%)
			Resultados Obtenidos
Subbase granular	P055-3	Reciclados Industriales	3,3

Los valores de contenido de humedad no son un parámetro especificado para los materiales granulares para subbases por tratarse de un estado que depende de las condiciones del ambiente, sin embargo, se puede decir que los materiales analizados contenían un bajo porcentaje de humedad y ninguno estaba en su condición saturada superficie seca. En campo, el valor de la humedad del material es un parámetro de control para la compactación de las capas de conformación de la estructura de pavimento, el cual debe ser contrastado con el valor de la humedad óptima (INV E-142-13).

- Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (**INV E-123-13**).

Tabla 376. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-123 Tamaño máximo (mm)	INV E-123 Pasa Tamiz No 200 (%)	INV E-123 Pasa Tamiz No 10 (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Arena mal gradada con finos	P055-1	Reciclados Industriales	0,075	8%	58%
Grava mal gradada gris	P055-2	Reciclados Industriales	0,075	0%	1%
Subbase granular	P055-3	Reciclados Industriales	0,075	22%	49%
Concreto reciclado 45% Subbase,20% Grava trituración y 35% Arena trituración	P055-D1	Reciclados Industriales	0,075	13%	43%
Concreto reciclado 40% Subbase,35% Grava trituración y 25% Arena trituración	P055-D2	Reciclados Industriales	0,075	11%	34%
Concreto reciclado 50% Subbase,25% Grava trituración y 25% Arena trituración	P055-D3	Reciclados Industriales	0,075	13%	39%

El porcentaje que pasa el tamiz No. 200 para los materiales de subbase con agregados reciclados de concreto, se encontró entre 11% y 13%, sin amplia variación. En general los requerimientos de granulometría pueden ser cumplidos por los materiales reciclados y las cantidades de material que pasa el tamiz No. 200 depende del proceso de limpieza inicial que se realice en la planta de valorización.

A continuación, se presentan los resultados de cada ensayo realizado sobre estos materiales, donde se presentan detalladamente los resultados y la grafica del análisis granulométrico.

Tabla 377. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P055-1 Arena mal gradada con finos

TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
76,1	3"	100%	±	0,00%	*
64,0	2.5"	100%	±	0,00%	*
50,8	2"	100%		0,00%	*
38,1	1 1/2"	100%	±	0,00%	*
25,4	1"	100%	±	0,00%	*
19,0	3/4"	100%	±	0,00%	*
9,5	3/8"	100%	±	0,00%	*
4,8	No. 4	85%	±	1,97%	*
2,0	No. 10	58%	±	0,69%	*
0,9	No. 20	42%	±	0,78%	*
0,425	No. 40	30%	±	0,60%	*
0,250	No. 60	20%	±	0,43%	*
0,106	No. 140	9%	±	0,22%	*
0,075	No. 200	8%	±	0,27%	*

Análisis por Hidrómetro:

Peso de la muestra seca al aire	115,0	(g)
Humedad higroscopica	0,72	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	114,2	(g)
Gravedad Específica de finos	1,965	(Gs)
Factor de Correción por Gs	1,056	(α)
Corrección por Defloculante	6,0	(g/l)

Análisis por Tamizado:

Tamaño máximo	0,075	(mm)
Gravas	15	(%)
Arenas	76	(%)
Arena Gruesa	26	(%)
Arena Media	28	(%)
Arena Fina	22	(%)
Finos	8	(%)

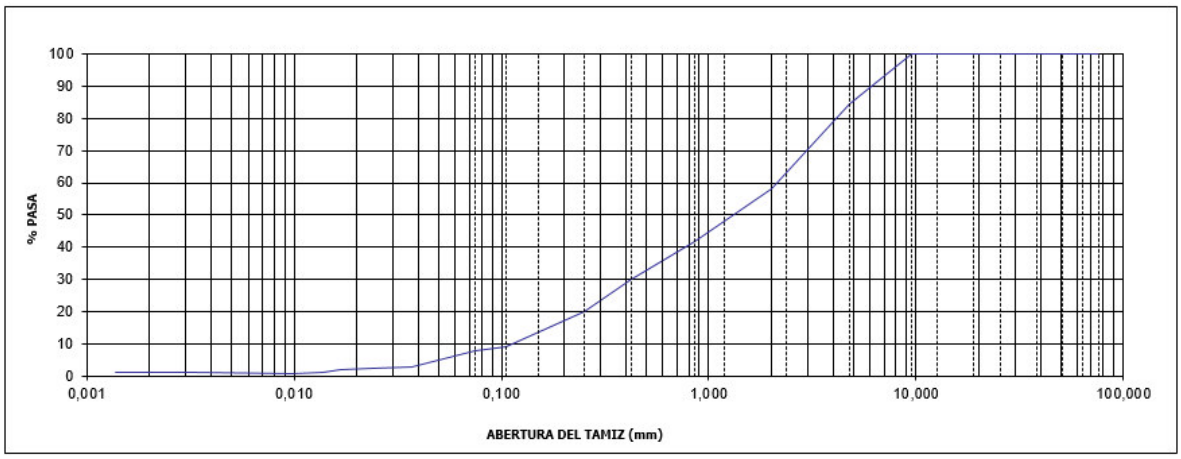


Tabla 378. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P055-2 Grava mal gradada gris

TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
76,1	3"	100%	±	0,00%	*
64,0	2.5"	100%	±	0,00%	*
50,8	2"	100%		0,00%	*
38,1	1 1/2"	100%	±	0,00%	*
25,4	1"	100%	±	0,00%	*
19,0	3/4"	100%	±	0,00%	*
9,5	3/8"	23%	±	0,45%	*
4,8	No. 4	2%	±	0,04%	*
2,0	No. 10	1%	±	0,02%	*
0,9	No. 20	0%	±	0,00%	*
0,425	No. 40	0%	±	0,00%	*
0,250	No. 60	0%	±	0,00%	*
0,106	No. 140	0%	±	0,00%	*
0,075	No. 200	0%	±	0,00%	*

Análisis por Hidrómetro:

Peso de la muestra seca al aire	---	(g)
Humedad higroscopica	---	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	---	(g)
Gravedad Específica de finos	2,17	(Gs)
Factor de Correción por Gs	1,034	(α)
Corrección por Defloculante	----	(g/l)

Análisis por Tamizado:

Tamaño máximo	0,075	(mm)
Gravas	98	(%)
Arenas	2	(%)
Arena Gruesa	0	(%)
Arena Media	1	(%)
Arena Fina	0	(%)
Finos	0	(%)

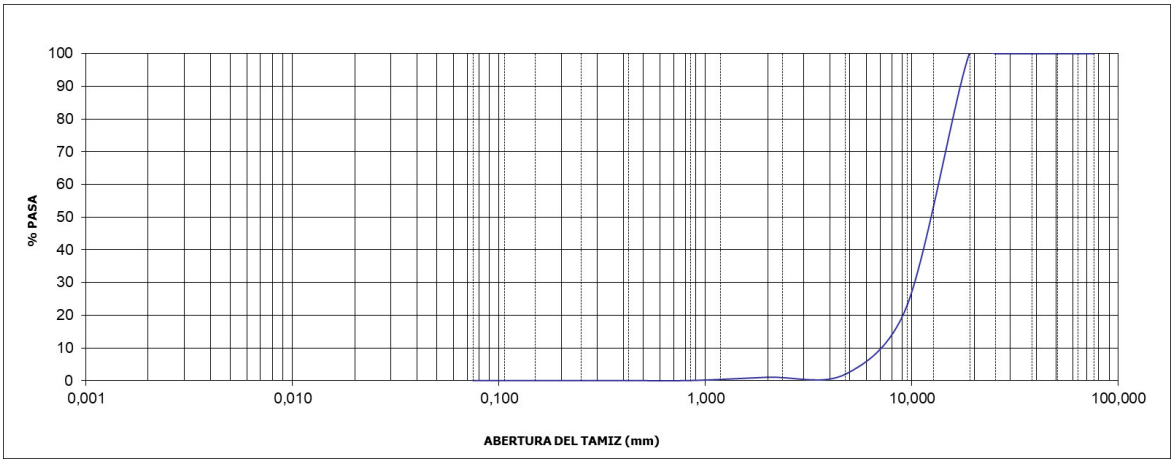


Tabla 379. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P055-3 Subbase granular

TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
76,1	3"	100%	±	0,00%	*
64,0	2.5"	100%	±	0,00%	*
50,8	2"	100%		0,00%	*
38,1	1 1/2"	93%	±	0,43%	*
25,4	1"	84%	±	0,62%	*
19,0	3/4"	78%	±	0,76%	*
9,5	3/8"	66%	±	1,29%	*
4,8	No. 4	56%	±	1,30%	*
2,0	No. 10	49%	±	0,58%	*
0,9	No. 20	46%	±	0,84%	*
0,425	No. 40	44%	±	0,89%	*
0,250	No. 60	42%	±	0,88%	*
0,106	No. 140	28%	±	0,66%	*
0,075	No. 200	22%	±	0,73%	*

Análisis por Hidrómetro:

Peso de la muestra seca al aire	115,0	(g)
Humedad higroscopica	3,35	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	111,1	(g)
Gravedad Específica de finos	2,28	(Gs)
Factor de Correción por Gs	1,056	(α)
Corrección por Defloculante	6,0	(g/l)

Análisis por Tamizado:

Tamaño máximo	0,075	(mm)
Gravas	44	(%)
Arenas	34	(%)
Arena Gruesa	7	(%)
Arena Media	5	(%)
Arena Fina	22	(%)
Finos	22	(%)

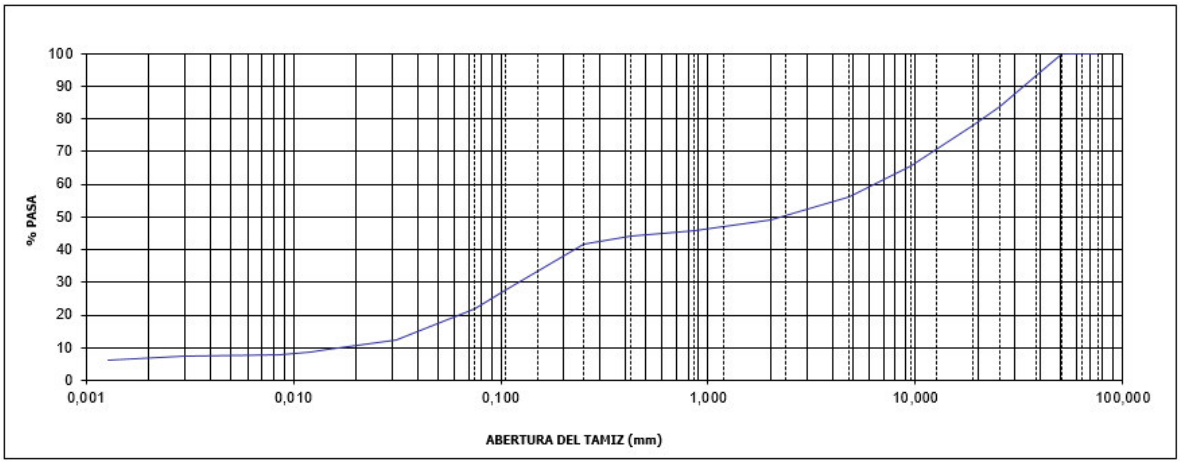


Tabla 380. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P055-D1 Concreto reciclado 45% Subbase,20% Grava trituración y 35% Arena trituración

TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
76,1	3"	100%	±	0,00%	*
64,0	2.5"	100%	±	0,00%	*
50,8	2"	100%		0,00%	*
38,1	1 1/2"	97%	±	0,45%	*
25,4	1"	93%	±	0,69%	*
19,0	3/4"	90%	±	0,87%	*
9,5	3/8"	69%	±	1,37%	*
4,8	No. 4	55%	±	1,29%	*
2,0	No. 10	43%	±	0,50%	*
0,9	No. 20	35%	±	0,65%	*
0,425	No. 40	30%	±	0,61%	*
0,250	No. 60	26%	±	0,54%	*
0,106	No. 140	16%	±	0,38%	*
0,075	No. 200	13%	±	0,42%	*

Análisis por Hidrómetro:

Peso de la muestra seca al aire	---	(g)
Humedad higroscopica	---	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	---	(g)
Gravedad Específica de finos	---	(Gs)
Factor de Correción por Gs	---	(α)
Corrección por Defloculante	----	(g/l)

Análisis por Tamizado:

Tamaño máximo	0,075	(mm)
Gravas	45	(%)
Arenas	43	(%)
Arena Gruesa	13	(%)
Arena Media	12	(%)
Arena Fina	18	(%)
Finos	13	(%)

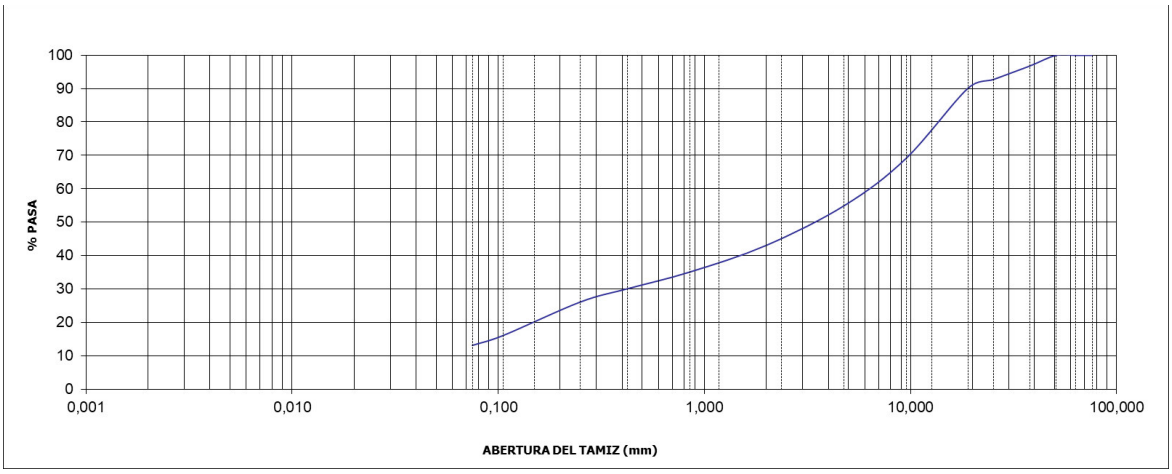


Tabla 381. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P055-D2 Concreto reciclado 40% Subbase,35% Grava trituración y 25% Arena trituración

TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
76,1	3"	100%	±	0,00%	*
64,0	2.5"	100%	±	0,00%	*
50,8	2"	100%		0,00%	*
38,1	1 1/2"	97%	±	0,45%	*
25,4	1"	94%	±	0,70%	*
19,0	3/4"	91%	±	0,89%	*
9,5	3/8"	59%	±	1,17%	*
4,8	No. 4	44%	±	1,03%	*
2,0	No. 10	34%	±	0,41%	*
0,9	No. 20	29%	±	0,53%	*
0,425	No. 40	25%	±	0,50%	*
0,250	No. 60	22%	±	0,46%	*
0,106	No. 140	13%	±	0,32%	*
0,075	No. 200	11%	±	0,36%	*

Análisis por Hidrómetro:

Peso de la muestra seca al aire	---	(g)
Humedad higroscopica	---	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	---	(g)
Gravedad Específica de finos	---	(Gs)
Factor de Correción por Gs	---	(α)
Corrección por Defloculante	----	(g/l)

Análisis por Tamizado:

Tamaño máximo	0,075	(mm)
Gravas	56	(%)
Arenas	34	(%)
Arena Gruesa	10	(%)
Arena Media	9	(%)
Arena Fina	14	(%)
Finos	11	(%)

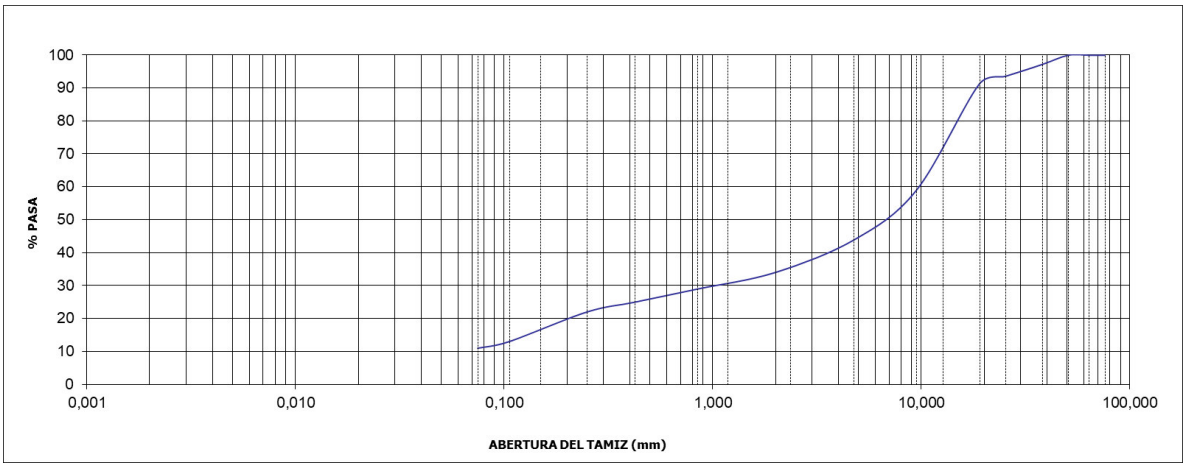


Tabla 382. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P055-D3 Concreto reciclado 50% Subbase,25% Grava trituración y 25% Arena trituración

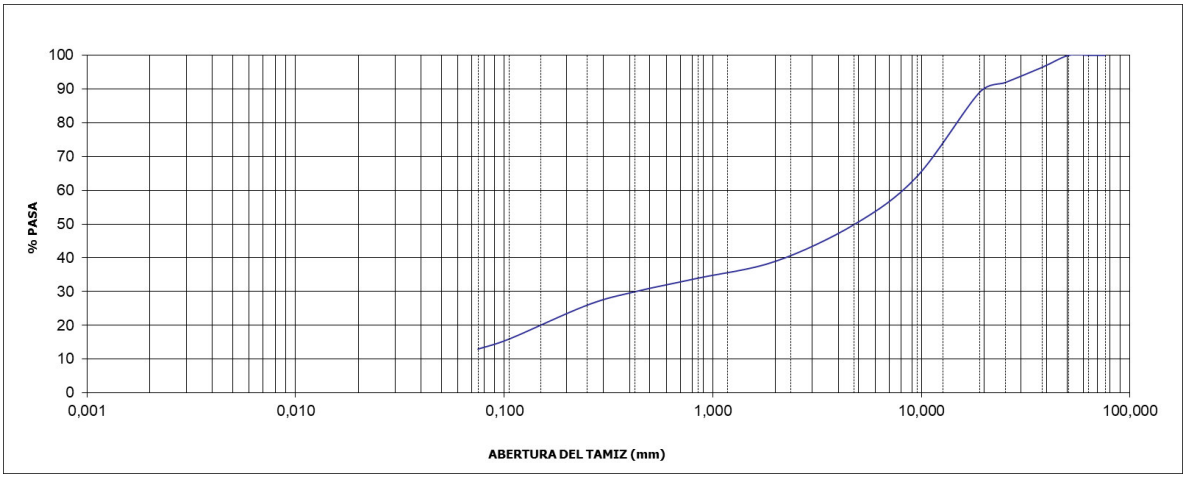
TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
76,1	3"	100%	±	0,00%	*
64,0	2.5"	100%	±	0,00%	*
50,8	2"	100%		0,00%	*
38,1	1 1/2"	97%	±	0,44%	*
25,4	1"	92%	±	0,69%	*
19,0	3/4"	89%	±	0,86%	*
9,5	3/8"	64%	±	1,26%	*
4,8	No. 4	50%	±	1,16%	*
2,0	No. 10	39%	±	0,46%	*
0,9	No. 20	34%	±	0,61%	*
0,425	No. 40	30%	±	0,59%	*
0,250	No. 60	26%	±	0,55%	*
0,106	No. 140	16%	±	0,39%	*
0,075	No. 200	13%	±	0,43%	*

Análisis por Hidrómetro:

Peso de la muestra seca al aire	---	(g)
Humedad higroscopica	---	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	---	(g)
Gravedad Específica de finos	---	(Gs)
Factor de Correción por Gs	---	(α)
Corrección por Defloculante	----	(g/l)

Análisis por Tamizado:

Tamaño máximo	0,075	(mm)
Gravas	50	(%)
Arenas	37	(%)
Arena Gruesa	11	(%)
Arena Media	10	(%)
Arena Fina	17	(%)
Finos	13	(%)



- Determinación del límite líquido de los suelos (**INV E-125-13**).

Tabla 383. Resultados obtenidos del ensayo INV E 125-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-125-13 LL (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Arena mal gradada con finos	P055-1	Reciclados Industriales	NL	-	-	-

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-125-13 LL (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Grava mal gradada gris	P055-2	Reciclados Industriales	NL	-	-	-
Subbase granular	P055-3	Reciclados Industriales	22	-	25,00	Cumple

Las muestras arrojaron valores por debajo de lo especificado, cumpliendo con este parámetro. El valor especificado está acorde con lo especificado para este material por el Invías y por la FHWA y en las regulaciones internacionesles no se piden valores direfentres a los solicitados para agregado natural virgen.

- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad para suelos (**INV E-126-13**).

Tabla 384. Resultados obtenidos del ensayo INV E 126-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-126-13 LP (%)	INV E-126-13 IP (%)			
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Arena mal gradada con finos	P055-1	Reciclados Industriales	NP	-	-	-	-
Grava mal gradada gris	P055-2	Reciclados Industriales	NP	-	-	-	-
Subbase granular	P055-3	Reciclados Industriales	15	8	-	6,00	No cumple

Para estos materiales se esperan valores menores de 3% para el Indice de plasticidad (no plástico, deseable), por lo que es importante no mezclar los RCD con tierras de excavación en ningún punto del proceso. El material ensayado no cumple con lo requerido en la especificación. Dentro de la bibliografía internacional, los agregados reciclados de concreto resultan ser no plásticos, por lo que deben mejorarse los procesos de separación, limpieza y en general gestión de los RCD.

- Equivalente de arena de suelos y agregados finos (**INV E-133-13**).

Tabla 385. Resultados obtenidos del ensayo INV E 133-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-133-13 Equivalente de arena(%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Arena mal gradada con finos	P055-1	Reciclados Industriales	87	-	-	-
Subbase granular	P055-3	Reciclados Industriales	74	22	-	Cumple

La presencia de partículas finas puede reducir significativamente la resistencia a las cargas de los vehículos en las capas granulares. Sin embargo, teniendo en cuenta que en los agregados reciclados de concreto estas partículas finas pueden provenir de mortero, pueden generar nuevos enlaces gracias a la actividad puzolánica.
Se establece el mismo valor que para los agregados naturales vírgenes, teniendo en cuenta que es un valor bajo dentro de lo encontrado en la bibliografía internacional, como se presento en la tabla, las muestras cumplen con la solicitud.

- Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (Ensayo modificado de compactación) (**INV E-142-13**).

Tabla 386. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-142-13 Densidad seca máxima (kN/m³)	INV E-142-13 Humedad óptima (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Subbase granular	P055-3	Reciclados Industriales	20,28	8,5
Concreto reciclado 45% Subbase,20% Grava trituración y 35% Arena trituración	P055-D1	Reciclados Industriales	19,20	10,8
Concreto reciclado 40% Subbase,35% Grava trituración y 25% Arena trituración	P055-D2	Reciclados Industriales	18,90	11,2

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-142-13 Densidad seca máxima (kN/m³)	INV E-142-13 Humedad óptima (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Concreto reciclado 50% Subbase,25% Grava trituración y 25% Arena trituración	P055-D3	Reciclados Industriales	19,05	10,85

Los agregados reciclados de concreto ensayados obtuvieron una densidad seca máxima promedio de 19,36kN/m^3 con desviación estándar de 0,63 kN/m^3, con valor máximo de 20,3 kN/m^3 y mínimo de 18,9 kN/m^3, con huemdad óptima promedio de 10,3%, con desviación estándar de 1,24% y valores mínimo y máximo de 8,5% y 11,2%, respectivamente. Los resultados son coherentes con lo reportado en la bibliografía, donde se evidencian mayores requerimientos de humedad óptima para este tipo de materiales.

- CBR de suelos compactados en el laboratorio (**INV E-148-13**).

Tabla 387. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Penetración al crítico (%)				
			Resultados Obtenidos	% referido gd_max	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Subbase granular	P055-3	Reciclados Industriales	80	100	60	-	Cumple
Concreto reciclado 45% Subbase,20% Grava trituración y 35% Arena trituración	P055-D1	Reciclados Industriales	261	100	60	-	Cumple
Concreto reciclado 40% Subbase,35% Grava trituración y 25% Arena trituración	P055-D2	Reciclados Industriales	274	100	60	-	Cumple
Concreto reciclado 50% Subbase,25% Grava trituración y 25% Arena trituración	P055-D3	Reciclados Industriales	121	100	60	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13 CBR Expasión total (%; máximo de las tres probetas)
			Resultados Obtenidos
Subbase granular	P055-3	Reciclados Industriales	0,13
Concreto reciclado 45% Subbase,20% Grava trituración y 35% Arena trituración	P055-D1	Reciclados Industriales	0
Concreto reciclado 40% Subbase,35% Grava trituración y 25% Arena trituración	P055-D2	Reciclados Industriales	0,07
Concreto reciclado 50% Subbase,25% Grava trituración y 25% Arena trituración	P055-D3	Reciclados Industriales	0,07

Todas las muestras ensayadas cumplen sobradamente los requisitos para CBR con penetración tanto a 0,1 in como 0,2 in. Lo que hace evidente el buen comportamiento del material, en general todos los resultados fueron mayores a 100% al evaluar el CBR con penetración a 0,2 in, y solo uno de los cuatro estuvo por debajo de ese valor al evaluar el CBRa una penetración a 0.1 in (%) con 80%. Sin embargo, también se evidencio una gran dispersión con valores de hasta 274% para penetración de 0,1 in y hasta 322 para penetración de 0,2 in. Se reporta un valor promedio de 184% y 234% para las penetraciones de 0,1 in y 0,2 in respectivamente.

- Módulo Resiliente de suelos y agregados (**INV E-156-13**).

Tabla 388. Resultados del ensayo INV E 156-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-156-13 Módulo resiliente de suelos y agregados ($M_R=k_1\theta^{k2}$ MPa)			
			k_1	k_2	θ (kPa)	M_R (MPa)
Subbase granular	P055-3	Reciclados Industriales	6,81	0.4755	80,10	54,77
			6,16	0.4983	78,90	54,35
			4,95	0.5209	78,10	47,90
Concreto reciclado 45% Subbase,20% Grava trituración y 35% Arena trituración	P055-D1	Reciclados Industriales	115,69	0.1191	81,30	195,34
			178,15	0.0914	81,30	266,30
			8,09	0.4034	76,20	46,49
Concreto reciclado 40% Subbase,35% Grava	P055-D2	Reciclados Industriales	7,91	0.4720	79,30	62,29
			9,06	0.4548	79,10	66,15
			7,89	0.4808	79,40	64,68

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-156-13 Módulo resiliente de suelos y agregados ($M_R=k_1\theta^{k2}$ MPa)			
			k_1	k_2	θ (kPa)	M_R (MPa)
trituración y 25% Arena trituración						
Concreto reciclado 50% Subbase,25% Grava trituración y 25% Arena trituración	P055-D3	Reciclados Industriales	10,42	0.4320	79,80	69,13
			8,27	0.4548	79,40	60,44
			8,23	0.4547	79,40	60,13

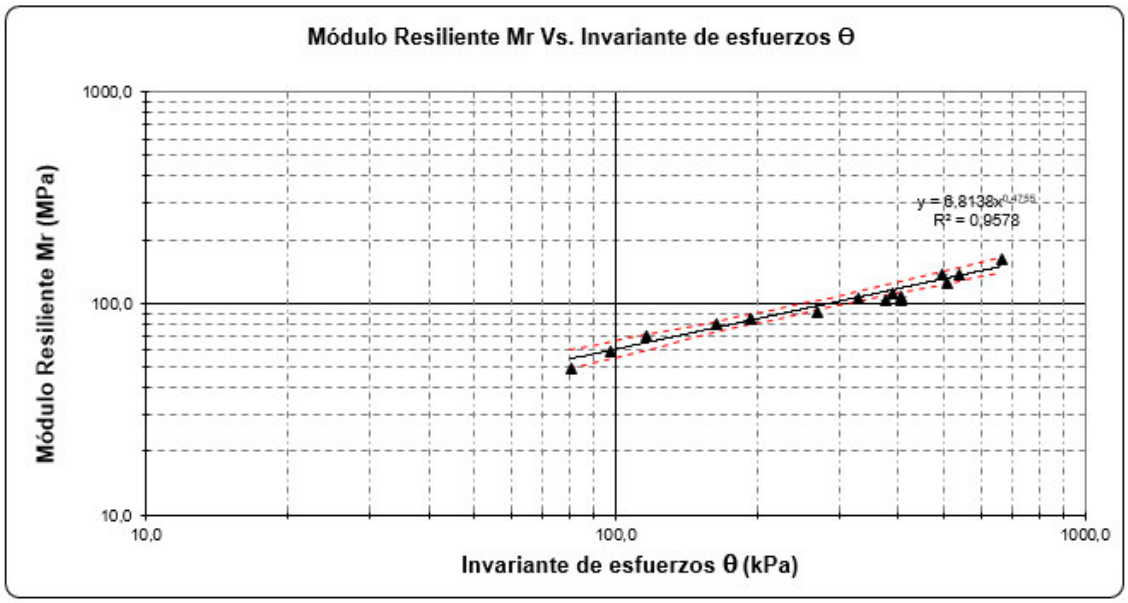


Ilustración 66. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-3-1

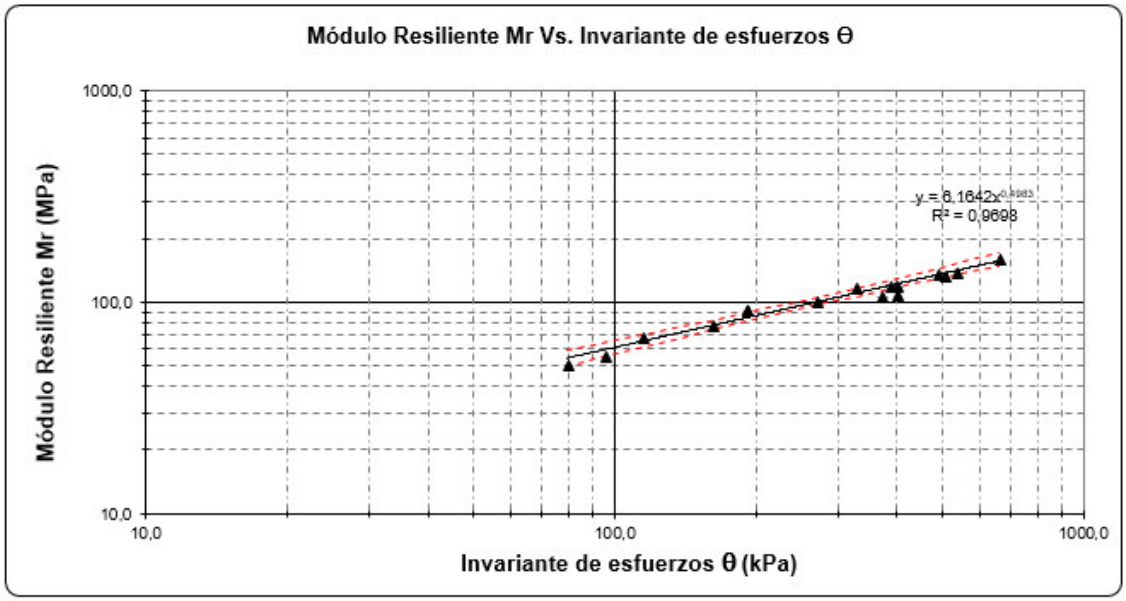


Ilustración 67. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-3-2

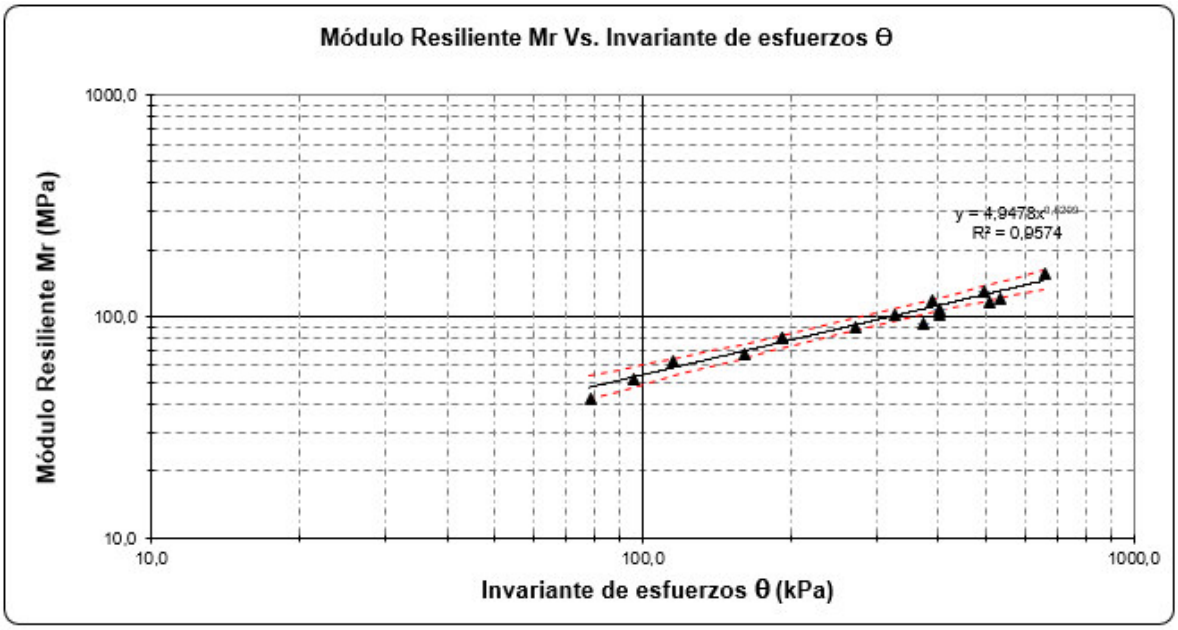


Ilustración 68. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-3-3

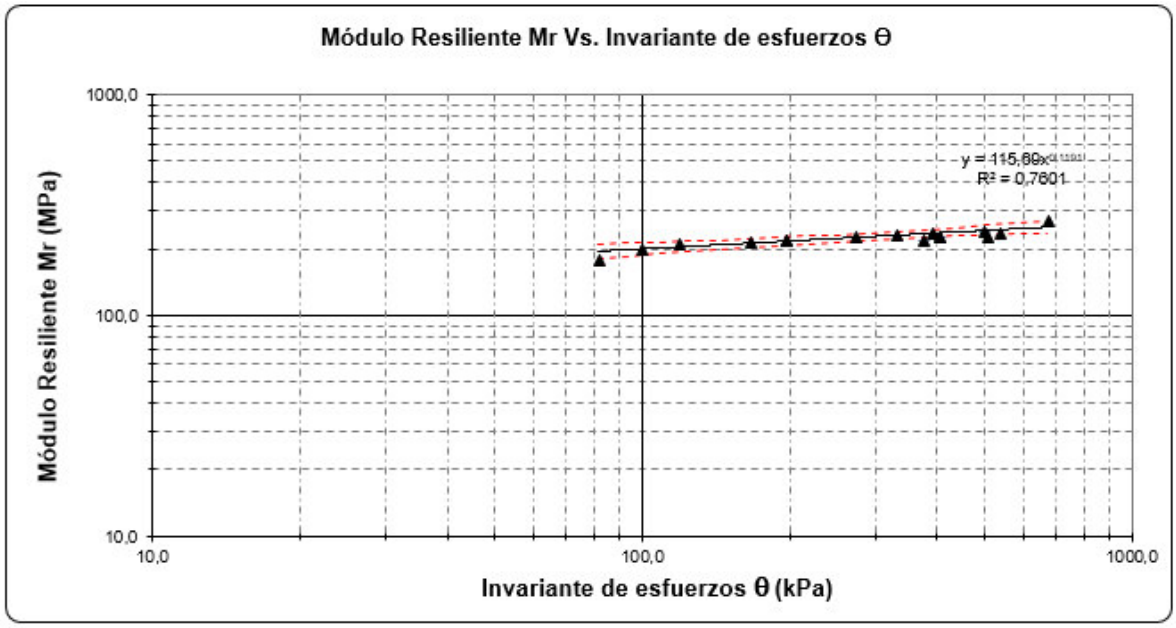


Ilustración 69. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D1-1

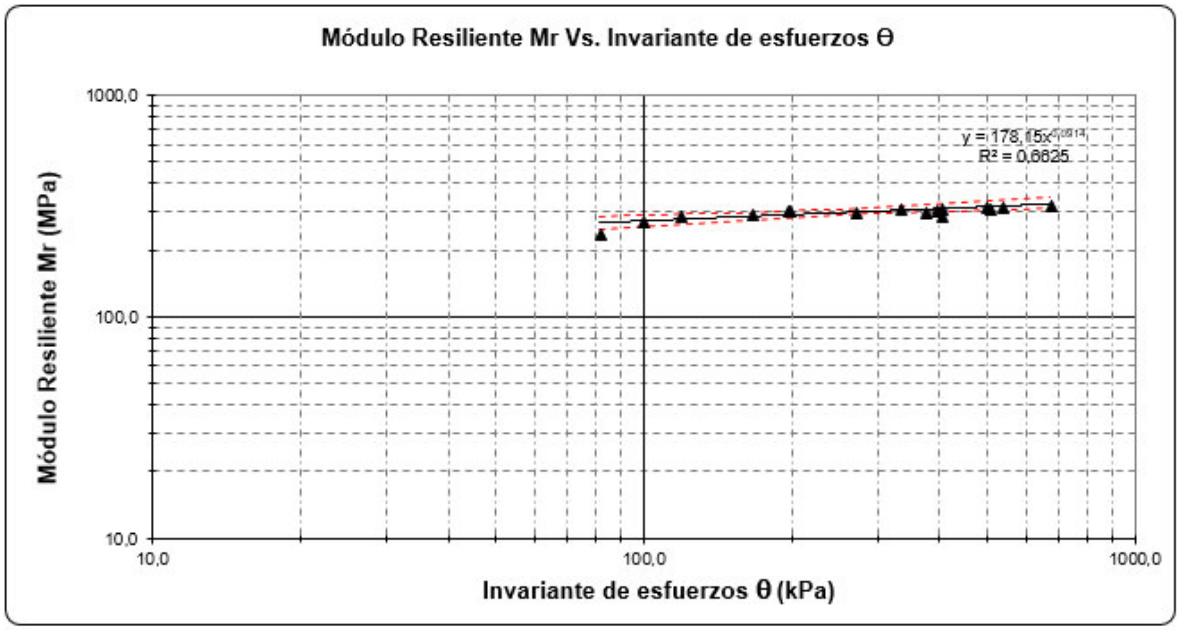


Ilustración 70. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D1-2

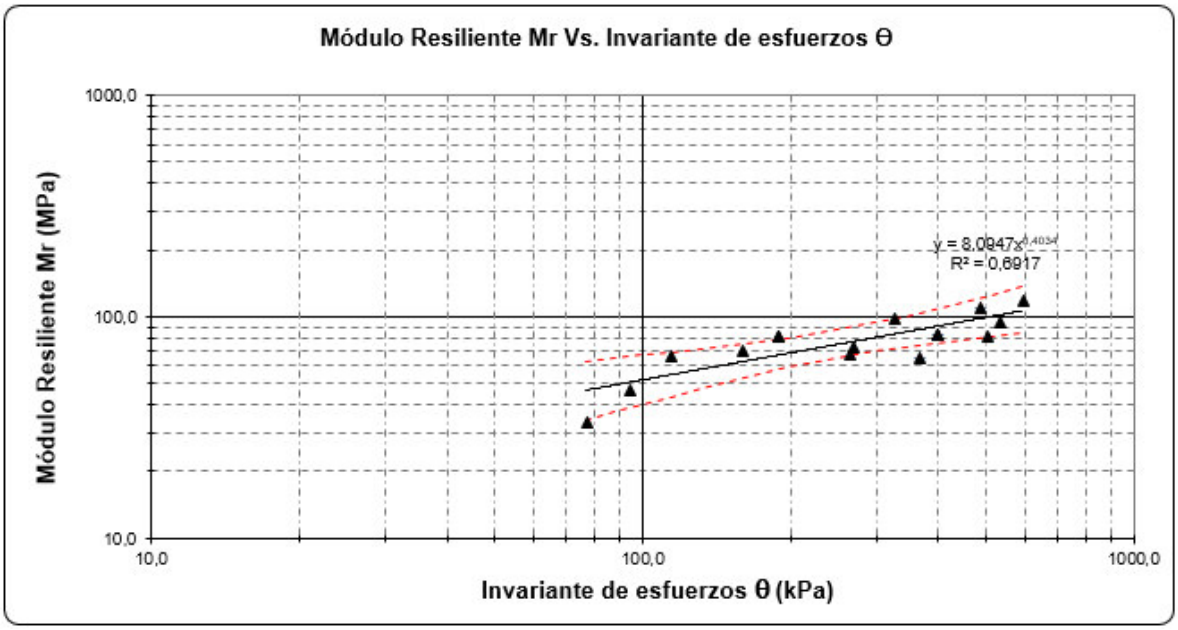


Ilustración 71. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D1-3

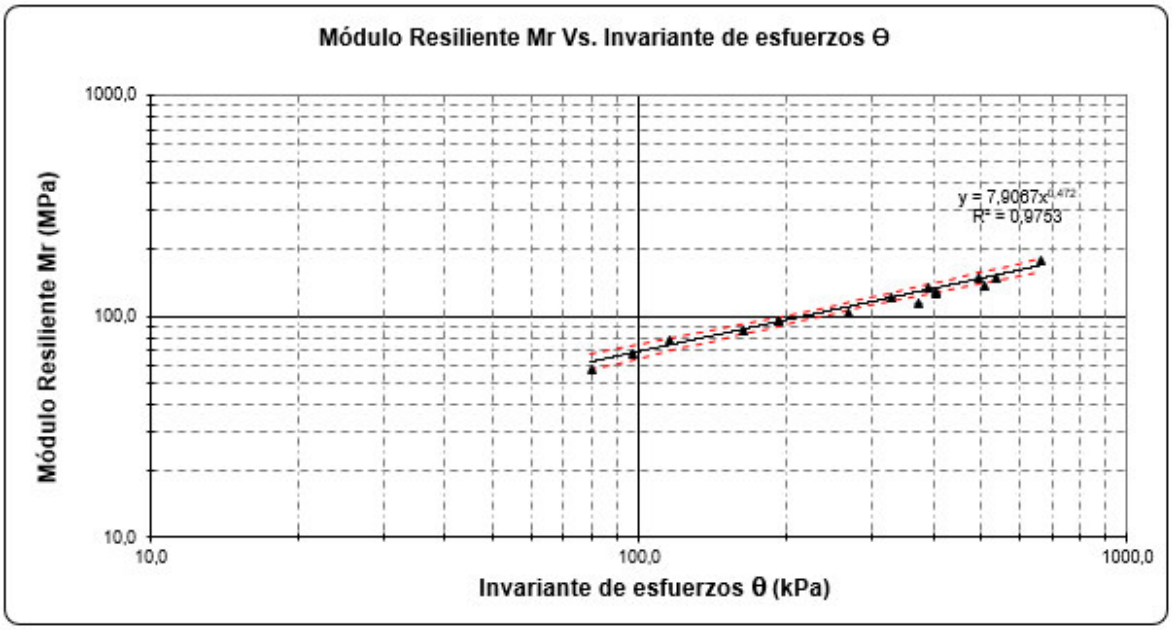


Ilustración 72. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D2-1

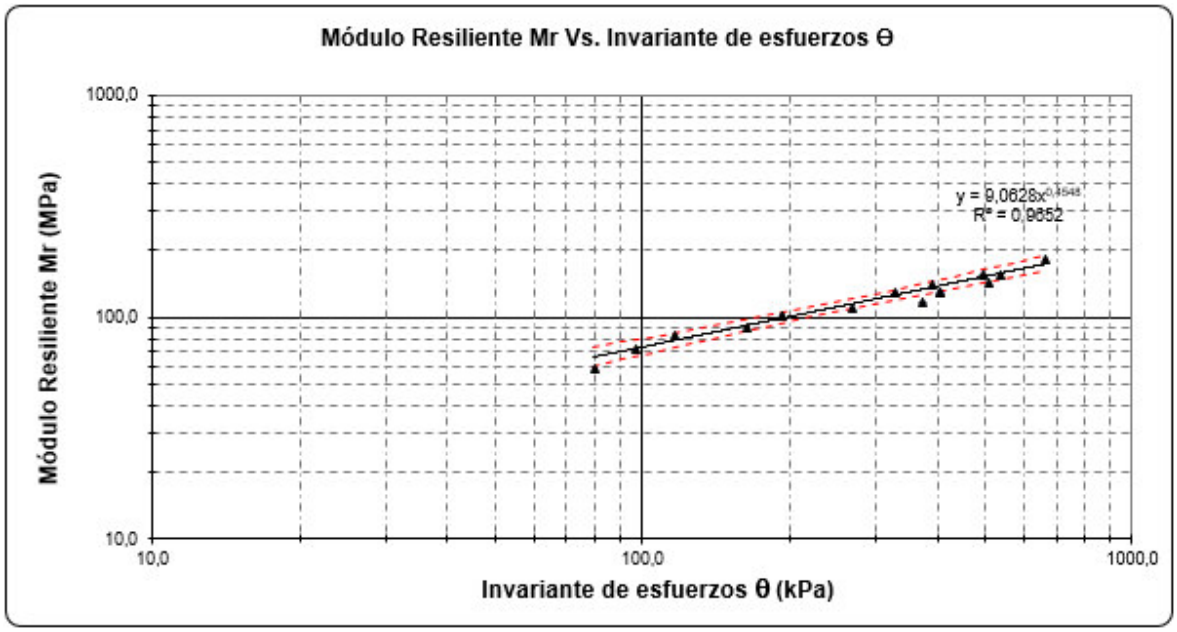


Ilustración 73. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D2-2

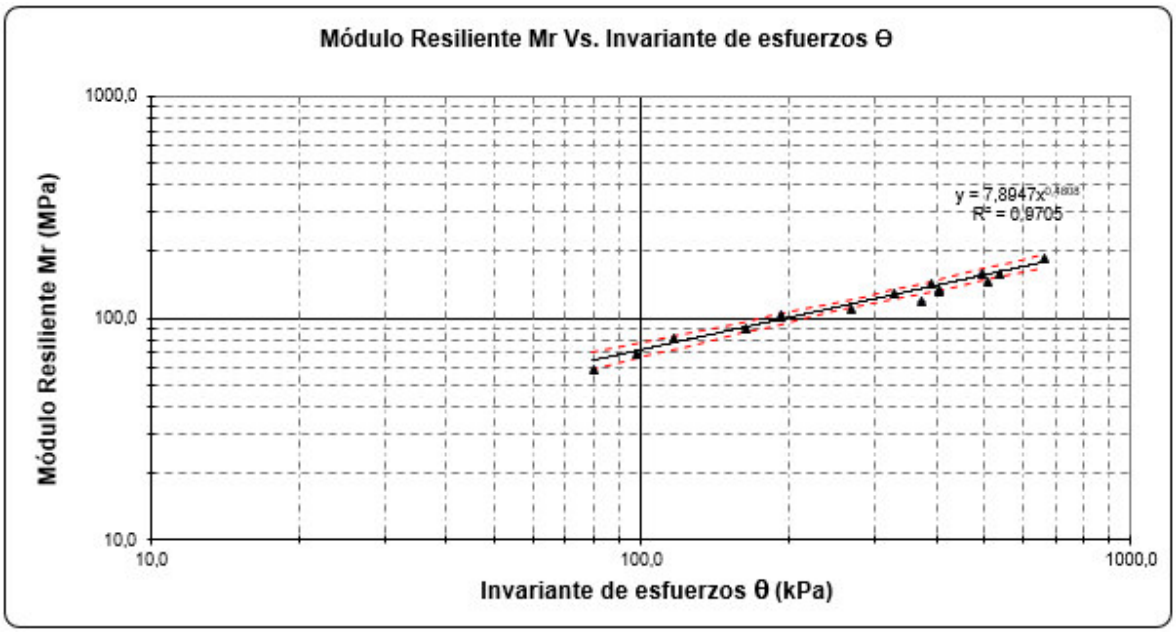


Ilustración 74. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D2-3

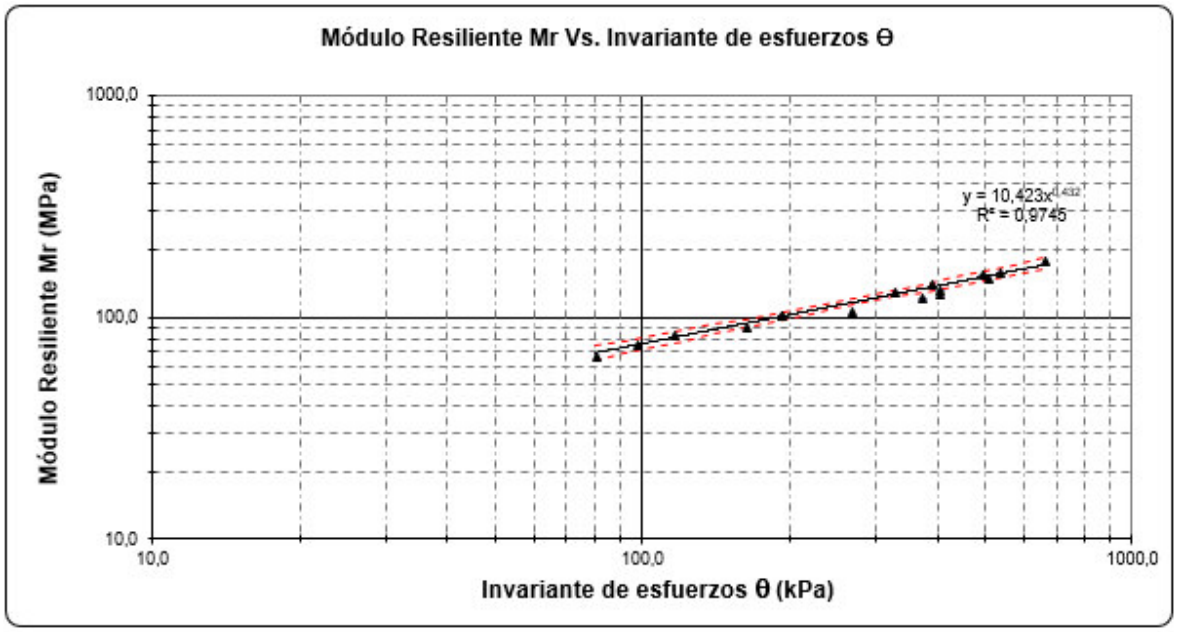


Ilustración 75. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D3-1

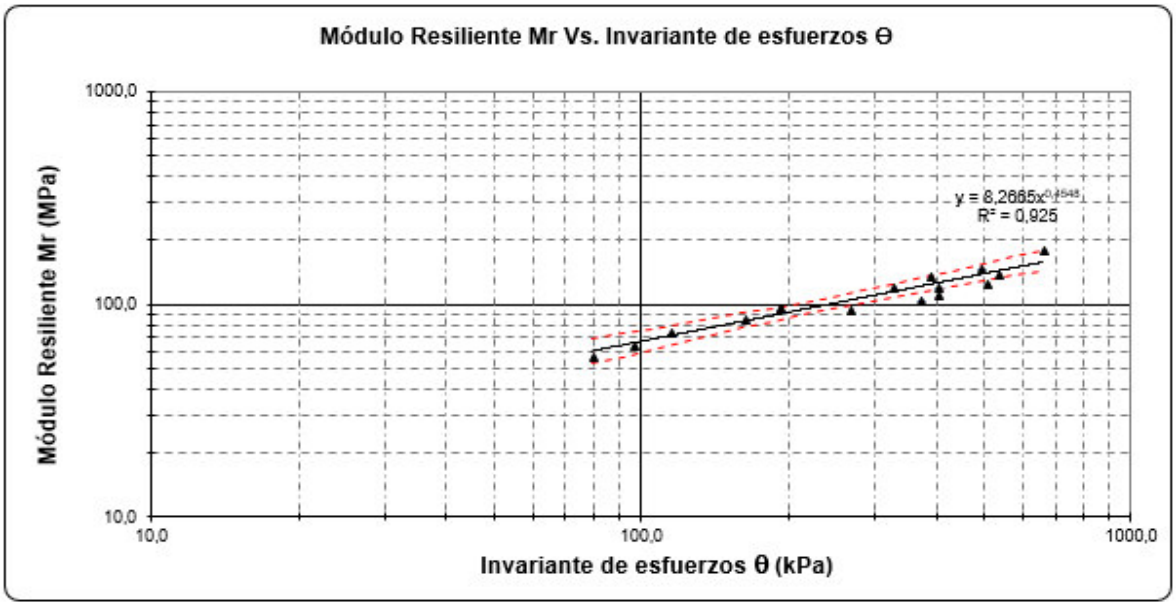


Ilustración 76. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D3-2

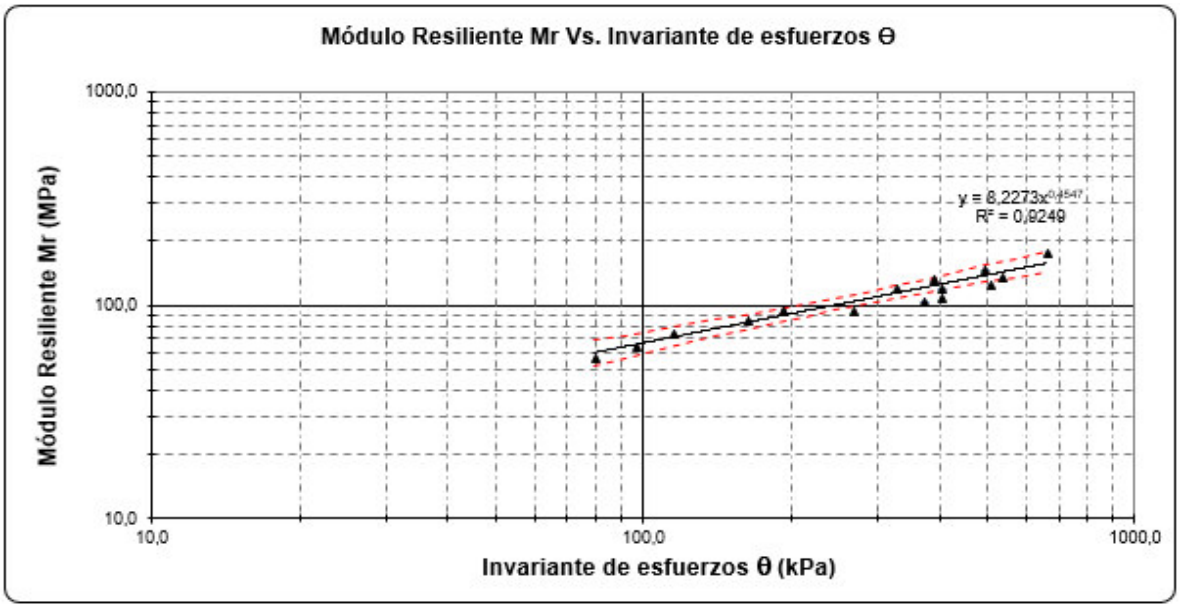


Ilustración 77. Resultados del ensayo INV E 156-13 para la muestra P055-D3-3

Se ha encontrado que los resultados obtenidos para el ensayo de módulo resiliente no fueron consistentes y robustos, ya que, a pesar de no tener una muestra de materiales mixtos, se obtuvo como valor medio de Módulo de 87,3MPa con una desviación estándar de 69,1MPa evaluándolo con un valor de 70 kPa como invariante de esfuerzos propuesta para Subbases. Como valor mínimo se encontró 46,5MPa y como máximo 266,3MPa. Por lo que se requiere un análisis mas profundo al respecto.

- Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles **(INV E 218-13).**

Tabla 389. Resultados obtenidos del ensayo INV E 218-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-218-13 Desgaste LA (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Arena mal gradada con finos	P055-1	Reciclados Industriales	30	-	-	-
Subbase granular	P055-3	Reciclados Industriales	54	-	50,00	No cumple

Los resultados de la Subbase granualr con agregados reciclados de concreto no cumple con lo especificado, reportando un valor alto dentro del rango que reporta la bibliografía para este tipo de materiales, aquí cabe resaltar que los concretos que vienen de los residuos de construcción y demolición RCD para la muestra ensayada, pueden no tener una buena resistencia y puede tener gran cantidad de mortero, por lo que se recomienda para futuros trabajos realizar análisis de cantidades de mortero adherido por lo menos.

- Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino **(INV E 222-13).**

Tabla 390. Resultados obtenidos del ensayo INV E 222-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-222-13 Densidad SH (kg/m³)	INV E-222-13 Densidad relativa SH (-)	INV E-222-13 Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Arena mal gradada con finos	P055-1	Reciclados Industriales	1960	1,97	10,18
Subbase granular	P055-3	Reciclados Industriales	2270	2,28	4,32

Los agregados reciclados en general presentan menores valores de densidad y mayores valores de absorción que un agregado natural. La densidad promedio fue de 2115 kg/m^3 con desviación estándar de 219,2 kg/m^3. En los resultados obtenidos se evidencio la influencia del material fino, el cual suele presentar mayores valores de absorción, que para este caso llego a 10,2%. Sin embargo, para el uso de estos materiales en Subbases no se realizan exigencias frente a este parámetro, pero se recomienda tenerlos en cuenta para la adecuada compactación, ya que requieren más agua que un agregado natural virgen.

- Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso **(INV E 223-13).**

Tabla 391. Resultados obtenidos del ensayo INV E 223-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-223-13 Densidad SH (kg/m³)	INV E-223-13 Densidad relativa SH (-)	INV E-223-13 Absorción (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Grava mal gradada gris	P055-2	Reciclados Industriales	2160	2,17	6,3
Subbase granular	P055-3	Reciclados Industriales	2250	2,26	4,7

Los agregados reciclados en general presentan menores valores de densidad y mayores valores de absorción que un agregado natural.
La densidad promedio fue de 2205 kg/m^3 con desviación estándar de 63,6 kg/m^3. Para los agregados gruesos reciclados de concreto, se encontraron valores de absorción de 4,7% a 6,3%, considerados normales dentro de lo que se encuentra en la bibliografía. Sin embargo, para el uso de estos materiales en Subbases no se realizan exigencias frente a este parámetro, pero se recomienda tenerlos en cuenta para la adecuada compactación, ya que requieren más agua que un agregado natural virgen.

- Valor de azul de metileno en agregados finos **(INV E 235-13).**

Tabla 392. Resultados obtenidos del ensayo INV E 235-13 para el material Subbase granular adicionada con RCD

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-235-13 Azul de metileno (g/ml)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 511-18
Arena mal gradada con finos	P055-1	Reciclados Industriales	2,5	-	10	Cumple
Subbase granular	P055-3	Reciclados Industriales	19,0	-	10	No cumple

La muestra P055-3 de subbase granular no cumplió con el parámetro establecido para azul de metileno. Debido a que se solo se obtuvo un resultado para la subbase granular, no es posible establecer conclusiones generales al respecto. Se requieren mayores ensayos

sobre este tipo de material con muestras tomadas en diferentes momentos para evaluar su homogeneidad.

H.3.5.18 ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON CEMENTOS

H.3.5.18.1 Diseño suelo-cemento

De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización de subrasantes se decidió solamente trabajar con el suelo obtenido de la avenida Bosa, el cual fue modificado con el cemento obtenido de la firma ARGOS, y de acuerdo con el plan de ensayos se comenzó el proceso de diseño de la mezcla. Para tal fin, se elaboraron probetas de suelo cemento para 5 contenidos diferentes de cemento, compactadas a la densidad máxima de compactación (Ilustración 78), encontrando que este varía entre 1761-1803 kg/m3, valores dentro de rangos normales para este tipo de materiales, adicionalmente es importante observar cómo a porcentajes elevados de cemento el material presenta un descenso en la densidad estando el valor máximo alrededor de 9% de cemento., pero dicha variación no se aleja mucho de la resistencia promedio de todos los porcentajes analizados.
Para la determinación del porcentaje óptimo se analizaron los resultados de compresión a 7 días, considerando dos condiciones Ilustración 79 e Ilustración 80,la primera curando las muestras bajo condiciones normales de acuerdo con la normatividad de ensayo, y la segunda aplicando un procedimiento alterno de curado al aire de 3 días y 4 días en inmersión, lo anterior para observar cómo posibles alteraciones en la condición de saturación pueden afectar la microestructura y alterar la resistencia máxima. Al comprar los resultados, se puede observar como la afectación es significativa para los bajos porcentajes de cemento, a diferencia de los porcentajes altos, la tendencia es similar para las dos condiciones estudiadas.

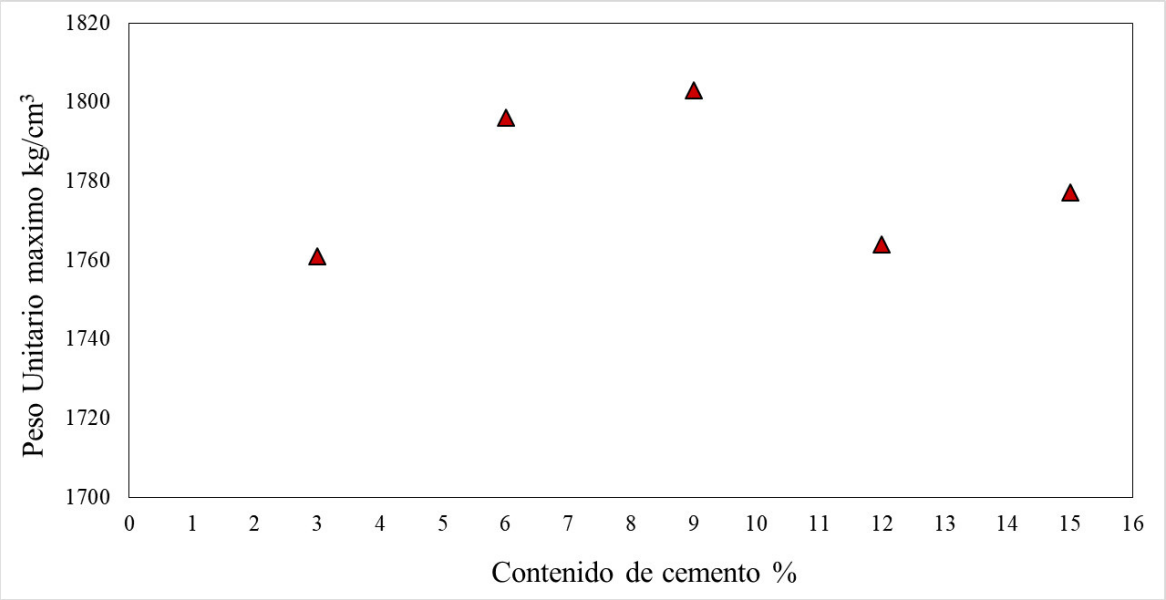


Ilustración 78. Variación del peso unitario máximo con el contenido de cemento.

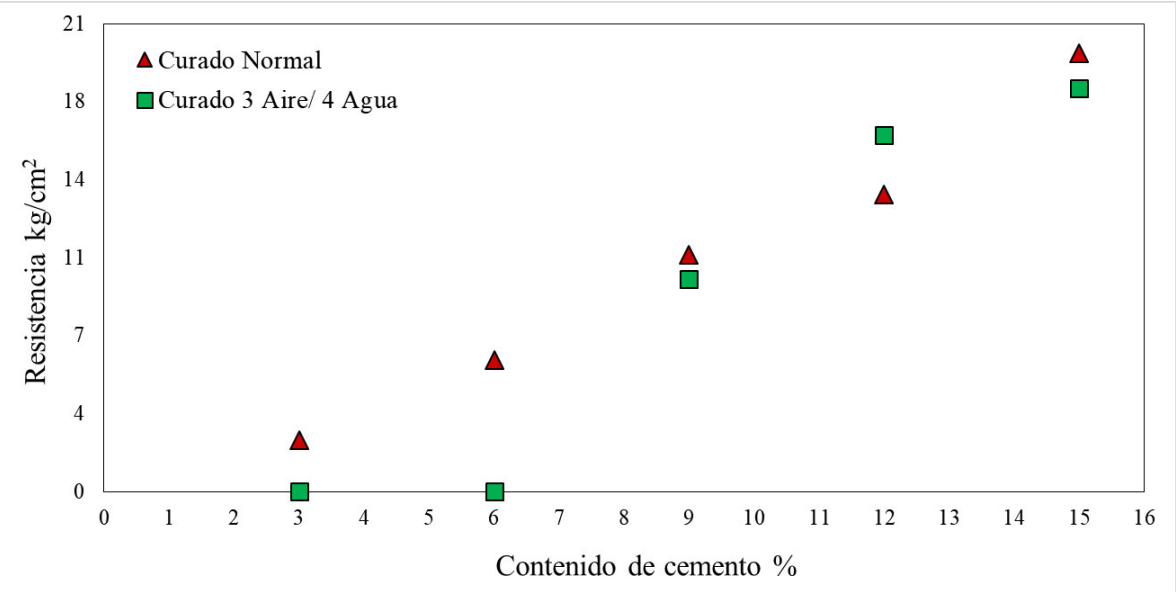


Ilustración 79. Variación de la resistencia a 7 días con el contenido de cemento.

Por otra parte, se analizaron los resultados a flexión (Ilustración 80) en los que se observó una tendencia creciente similar a la obtenida en los resultados a la compresión. Sin embargo, para contenidos de cemento superiores al 9 %, la tendencia de crecimiento cambia, aunque continua creciente, su tasa de crecimiento decrece. Lo anterior puede indicar un proceso de micro-fisuración temprana debido a contenidos elevados de cemento.

De acuerdo con los resultados obtenidos a nivel preliminar, se seleccionó el óptimo contenido de 11.5% de cemento, para valor de resistencia de 14 kg/cm2 recomendado por PCA para este tipo de materiales. Lo anterior, teniendo en cuenta que, para este tipo de materiales, los valores óptimos de compresión según lo definido no pueden ser de 21 kg/cm2 como es usualmente definido en muchos diseños en nuestro país, este valor de 21 kg/cm2 no resulta ser apropiado para el tipo de materiales de subrasanastes predominantes en la sabana de Bogotá pues con el querer alcanzarlo requeriría dosificaciones de cemento desproporcionadas y antieconómicas sin realizar aportes significativos en durabilidad y mejoramiento respecto a la alternativa de diseñar el mejoramiento eligiendo óptimos que apunten a resistencias menores como la elegida para este estudio de (11.5%)14 kg/cm2, mezcla que al haber sido verificada por durabilidad se encontró que satisface el estándar de perdida máxima tolerada que es del 7%, mientras que para valores inferiores (9%)las muestras no resistieron el total de los ciclos.

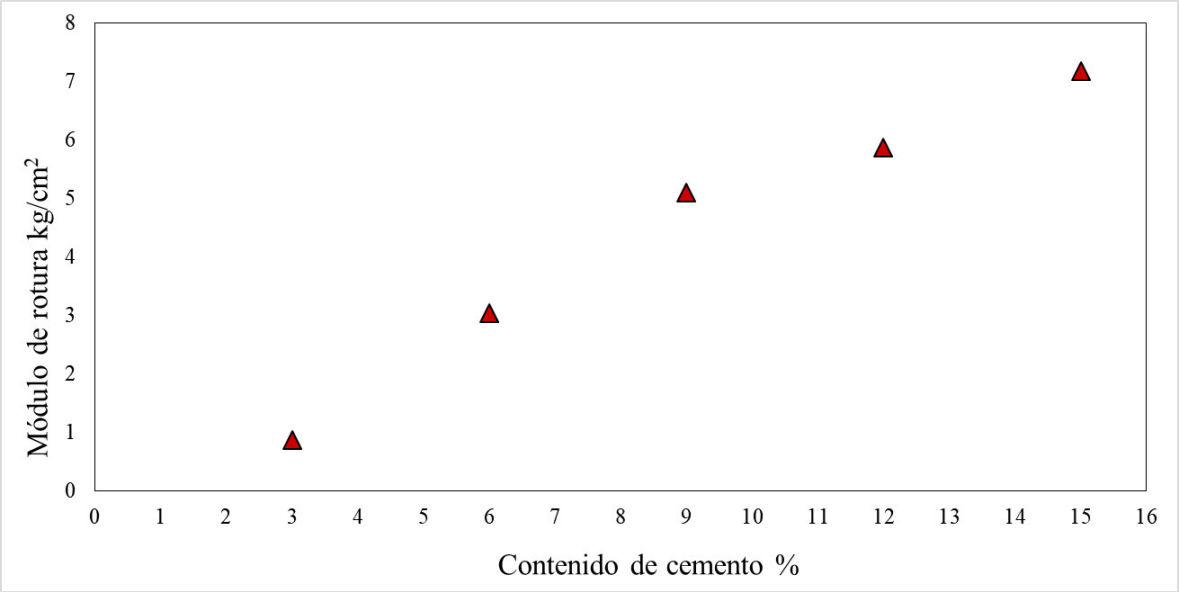


Ilustración 80. Variación de la resistencia a 7 días con el contenido de cemento.

- Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación) **(INV E-141-13)**

Tabla 393. Resultados obtenidos del ensayo INV E 141-13 para el material Subrasante tratada con cemento

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-141-13 Peso unitario optimo (KN/m3)	INV E-141-13 Humedad optima (%)	INV E-141-13 Expansión (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 3	P069-1	Av Bosa - Argos	17,60	16,6	0,48
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 6	P069-1	Av Bosa - Argos	17,13	14,0	1,20
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 9	P069-1	Av Bosa - Argos	17,35	15,4	0,44
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 12	P069-1	Av Bosa - Argos	17,44	17,4	0,33
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 15	P069-1	Av Bosa - Argos	17,55	16,6	0,30

- CBR de los suelos compactados en el laboratorio (7 días aire, y 3 días aire más 4 días inmersión) **(INV E-148-13)**

Tabla 394. Resultados obtenidos del ensayo INV E 148-13 para el material Subrasante tratada con cemento

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-148-13. CBR 0,2" y 56 golpes (%)	
			Resultados Obtenidos	
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 3	P069-1	Av Bosa - Argos	Inmersión	11,94
			Sin inmersión	16,50
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 6	P069-1	Av Bosa - Argos	Inmersión	82,52
			Sin inmersión	76,70
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 9	P069-1	Av Bosa - Argos	Inmersión	89,32
			Sin inmersión	95,15
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 12	P069-1	Av Bosa - Argos	Inmersión	72,82
			Sin inmersión	68,93
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 15	P069-1	Av Bosa - Argos	Inmersión	103,88
			Sin inmersión	90,29

- Relaciones humedad-densidad de mezclas de suelo cemento **(INV E-611-13)**

Tabla 395. Resultados obtenidos del ensayo INV E 611-13 para el material Subrasante tratada con cemento

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-611-13. Densidad máxima (kg/m3)
			Resultados Obtenidos
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 3	P069-1	Av Bosa - Argos	1761
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 6	P069-1	Av Bosa - Argos	1796

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-611-13. Densidad máxima (kg/m3)
			Resultados Obtenidos
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 9	P069-1	Av Bosa - Argos	1803
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 12	P069-1	Av Bosa - Argos	1764
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 15	P069-1	Av Bosa - Argos	1777

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-611-13. Humedad óptima (%)
			Resultados Obtenidos
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 3	P069-1	Av Bosa - Argos	16,8
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 6	P069-1	Av Bosa - Argos	14,2
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 9	P069-1	Av Bosa - Argos	15,9
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 12	P069-1	Av Bosa - Argos	17,7
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 15	P069-1	Av Bosa - Argos	16,8

- Resistencia a la compresión de cilindros moldeados de suelo-cemento (7 días aire, y 3 días aire más 4 días inmersión) **(INV E-614-13)**

Tabla 396. Resultados obtenidos del ensayo INV E 614-13 para el material Subrasante tratada con cemento

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-613/614-13 Resistencia a la compresión (kPa)- 7 días de edad del espécimen
			Resultados Obtenidos
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 3	P069-1	Av Bosa - Argos	262
			262
			168
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 6	P069-1	Av Bosa - Argos	624
			574
			574
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 9	P069-1	Av Bosa - Argos	1167
			938
			1079
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 12	P069-1	Av Bosa - Argos	1373
			1255
			1373
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 15	P069-1	Av Bosa - Argos	1880
			1990
			2034

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-613/614-13 Resistencia a la compresión (kPa)- curado en cuarto durante 3 días e inmersión durante 4 días)
			Resultados Obtenidos
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 3	P069-1	Av Bosa - Argos	-
			-
			-
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 6	P069-1	Av Bosa - Argos	-
			-
			-
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 9	P069-1	Av Bosa - Argos	934
			972
			959
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 12	P069-1	Av Bosa - Argos	1880
			1471
			1448
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 15	P069-1	Av Bosa - Argos	1717
			1868
			1842

- Resistencia a la flexión del suelo-cemento usando una viga simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre (**INV E-616-13):**

Tabla 397. Resultados obtenidos del ensayo INV E 616-13 para el material Subrasante tratada con cemento

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E -616-13 Módulo de rotura (Mpa)
			Resultados Obtenidos
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 3	P069-1	Av Bosa - Argos	0,04
			0,12
			0,10
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 6	P069-1	Av Bosa - Argos	0,33
			0,29
			0,29
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 9	P069-1	Av Bosa - Argos	0,47
			0,53
			0,53
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 12	P069-1	Av Bosa - Argos	0,58
			0,62
			0,56
Arcilla de baja compresibilidad % cemento de 15	P069-1	Av Bosa - Argos	0,70
			0,68
			0,77

H.3.5.18.2 Verificación del Diseño Óptimo

- Módulo Resiliente de suelos y agregados **(INV E-156-13).**

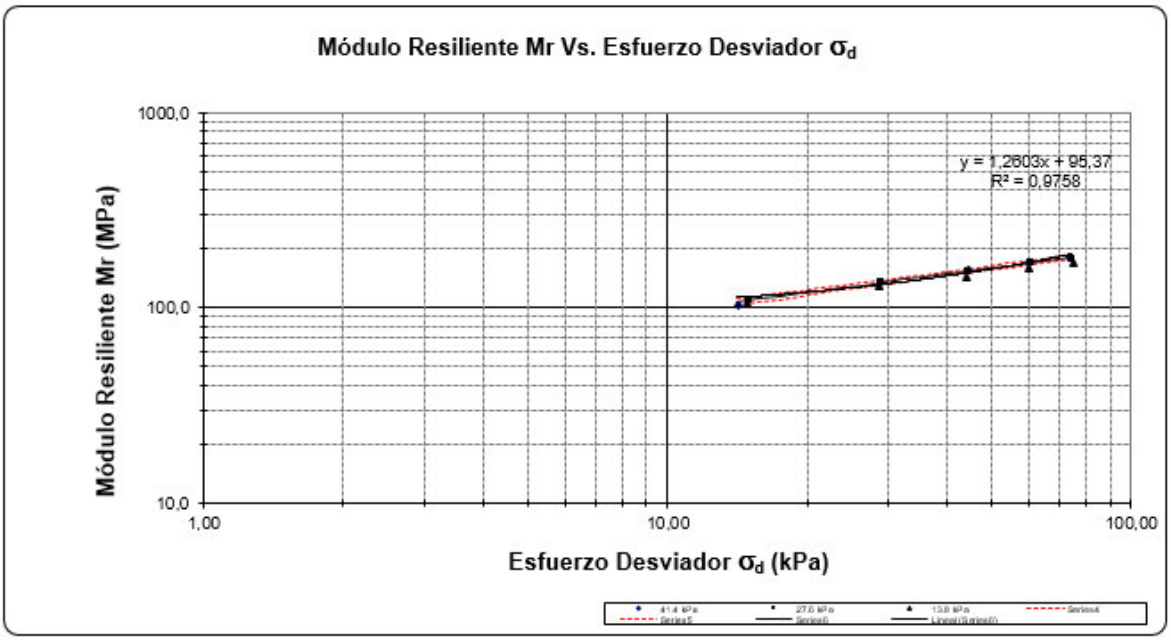


Ilustración 81. Resultados del ensayo INV E 156-13.

- Humedecimiento y secado de mezclas compactadas de suelo-cemento (Durabilidad) **(INV E-612-13).**

Tabla 398. Resultados obtenidos del ensayo INV E 612-13 para el material Subrasante tratada con cemento

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-612-13. Densidad seca (kg/m3)	INV E-612-13. Densidad optima (kg/m3)	INV E-612-13. Pérdida de suelo cemento (%)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Subrasante con cemento (9% Cemento)	P069-1	Av Bosa	1814	1803	--
Subrasante con cemento (12% Cemento)			1753	1764	6,8
Subrasante con cemento (15% Cemento)			1776	1777	6,8

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-612-13. Máx cambio de volumen (%)	INV E-612-13. Contenido máx de humedad (%)	INV E-612-13. Método de ensayo
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Subrasante con cemento (9% Cemento)	P069-1	Av Bosa	1,4	14,4	A
Subrasante con cemento (12% Cemento)			2	15,8	A
Subrasante con cemento (15% Cemento)			2	13,7	A

- Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada) **(EN 12697-24)**

Tabla 399. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Subrasante tratada con cemento

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- b	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- α	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- ε_6 (με)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Subrasante con cemento (9% Cemento)	P069-1	Av Bosa	**T = 20°C, F= 2,5Hz**		
Subrasante con cemento (12% Cemento)			-0,071	14,0845	154,4814
Subrasante con cemento (15% Cemento)					

Una vez definido el óptimo contenido de cemento se realizaron ensayos para analizar el desempeño de la mezcla:

Como ya se mencionó el porcentaje seleccionado optimo cumplió con el estándar para durabilidad, requerido de 7% máximo, lo que permite inferir que para zonas de la sabana donde se presenten varias fluctuaciones de nivel freático durante un mismo ciclo hidrológico será fundamental considerar las reducciones de resistencia que se pueden producir por procesos de humedecimiento y secado así como verificar los niveles de tenciones inducidas por los cambios en el régimen capilar mediante análisis de la curva característica del material, esto no se puede requerir como mandatorio aun

en la especificación pues un solo ensayo de un tipo de suelo no resultaría suficiente, por lo que en etapas posteriores se requiere de ensayar más tipos de suelos por lo menos 8 y analizar los cambios de la durabilidad, monitoreando el desempeño de este indicador y analizando el efecto de acuerdo con el máximo número de ciclos que se desarrolle en las subrasantes de la sabana pues el número de ciclos del ensayo está definido de acuerdo con procesos de congelamiento y descongelamiento típicos de zonas con estaciones y no con cambios en niveles capilares por procesos prolongados de lluvia y percolación como ocurre en los niveles superiores de los suelos de la sabana de Bogotá.

Por otra parte, al observar los cambios de volumen también se encuentran dentro de los limites deseables inferiores al 3%, lo que es congruente con los valores de expansión observados de las pruebas de CBR y las pruebas de expansión realizadas que permiten observar como la adición de cemento en esta proporción inactiva los minerales generadores de actividad en el suelo ensayado.

Por otra parte, los valores de CBR alcanzados muestran un valor significativo tanto para la condición de curado normal como la de al aire, alcanzado valores cercanos a los exigidos para materiales de base a nivel internacional superiores a 80%.

Por otra parte, como ya se mencionó a partir de los ensayos de fatiga se pudo observar como para el contenido óptimo de cemento seleccionado se generan incrementos de resistencia a la tensión pueden ser superiores a 25 veces la resistencia de la condición sin estabilizar, motivo por el que el material alcanzara niveles de rigidez muy altos que lo llevan a una condición de fragilidad temprana que puede no ser beneficioso para el proceso constructivo, lo anterior ocurre debido a que por la alta rigidez alcanzada por la demanda alta de material cementante por la naturaleza fina del suelo de subrasante ensayado, genera que el suelo se vuelva extremadamente sensible a valores de esfuerzo de contacto elevado motivo por el que tránsito de vehículos pesados (volquetas con presiones de inflado alto) durante construcción debe ser limitado para evitar reducciones en la vida útil de la capa.

Lo anterior se puede observar al analizar como para el esfuerzo de 560 kPa (esfuerzo cercano a una presión de inflado de 80psi que es la empleada en volquetas y camiones) el número de repeticiones es de 1, mientras que para un esfuerzo aplicado de 380kPa el número de ciclos incrementa a 723585, lo que demuestra que las maniobras que se realicen involucrando la capa terminada para este tipo de subrasantes deben ser con equipos pequeños que apliquen presiones de contacto moderadas.

Este fenómeno se puede evidenciar también al observar como para los resultados de los ensayos de módulo resiliente para el suelo mezclado con el porcentaje optimo de cemento la variabilidad entre los módulos (máximo-mínimo) para los diferentes valores

de esfuerzos se incrementa comparado con respecto a la variabilidad observada para la subrasante sin estabilizar.

A partir de lo anterior, como ya se mencionó se podría pensar en que se debe restringir la circulación de vehículos sobre estas subrasantes mejoradas, y solo se podría permitir hasta que se aplique una capa granular de espesor tal que garantice que los esfuerzos que se trasmitan sean inferiores a 350 kPa, este valor aun no podría ser incluido como requisito en la especificación pues un solo ensayo de un tipo de suelo no resultaría suficiente, por lo que en etapas posteriores se requiere de ensayar más tipos de suelos y analizar la evolución de la vida a la fatiga en al menos 4 edades diferentes de curado 7-14-28-56 días, para poder definir unos mínimos requeridos y establecer como es la evolución debido a la microfisuración debida a los altos contenidos de cemento.

H.3.5.19 BASE GRANULAR MEJORADA CON CEMENTO HIDRÁULICO

Las muestras ensayadas fueron: P119-2 (BG_C, P128-1), y P119-1 (SBG_C, P128-1).

Diseño grava-cemento

- Relaciones humedad – Peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación) **(INV E-142-13).**

Tabla 400. Resultados obtenidos del ensayo INV E 142-13 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-142-13 Peso unitario seco máximo (kN/m³)
			Resultados Obtenidos
Base granular + 1% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	20,73
Base granular + 2% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	20,61
Base granular + 3% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	20,54
Base granular + 5% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	20,42
Óptimo-Base granular + 7,1% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	20,34

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-142-13 Peso unitario seco máximo (kN/m³)
			Resultados Obtenidos
Base granular + 8% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	20,31
Subbase granular + 1% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	20,89
Subbase granular + 2% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1		20,82
Subbase granular + 3% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	20,77
Subbase granular + 5% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	20,50
Óptimo- Subbase granular + 7,5% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	20,41
Subbase granular + 8% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	20,37

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-142-13 Humedad óptima (%)
			Resultados Obtenidos
Base granular + 1% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	7,5
Base granular + 2% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	7,7
Base granular + 3% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	8,2
Base granular + 5% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	8,7
Óptimo-Base granular + 7,1% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	8,8
Base granular + 8% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	8,9
Subbase granular + 1% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	7,0
Subbase granular + 2% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1		7,5

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-142-13 Humedad óptima (%)
			Resultados Obtenidos
Subbase granular + 3% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	8,1
Subbase granular + 5% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	8,2
Óptimo- Subbase granular + 7,5% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	8,8
Subbase granular + 8% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	8,6

- Expansión Volumétrica **(INV E-612-13)**

Tabla 401. Resultados obtenidos del ensayo INV E 612-13 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico

Material	Muestra	INV E-612-13.			
		Densidad seca máxima (kg/m3)	Humedad óptima(kg/m3	Máx cambio de volumen (%)	Contenido máx de humedad (%)
Base granular + 1% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	2114	7,5	-100	8,1
Base granular + 2% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	2102	7,7	-100	8,6
Base granular + 3% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	2095	8,2	-1.1	9,2
Base granular + 5% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	2082	8,7	-1	9,6
Óptimo- Base granular + 7,1% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	2074	8,8	-0.8	10,0

Material	Muestra	INV E-612-13.			
		Densidad seca máxima (kg/m3)	Humedad óptima(kg/m3	Máx cambio de volumen (%)	Contenido máx de humedad (%)
Base granular + 8% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	2070	8,9	-0,5	10,0
Subbase granular + 1% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	2130	7,0	-100,0	7,9
Subbase granular + 2% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	2123	7,5	-100,0	8,8
Subbase granular + 3% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	2118	8,1	-1,8	8,9
Subbase granular + 5% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	2087	8,2	-1,5	9,2
Óptimo- Subbase granular + 7,5% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	2081	8,8	-1,6	10,1
Subbase granular + 8% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	2077	8,6	-1,8	10,4

- Resistencia a la compresión de cilindros moldeados de granular-cemento (7 días curado a una humedad relativa ente 95% y 100% y una temperatura entre 20° y 25° C) **(INV E-614-13)**

Tabla 402. Resultados obtenidos del ensayo INV E 613-13/614-13 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-613/614-13 Resistencia a la compresión (kPa)- 7 días de edad del espécimen			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 520-18
Base granular + 1% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	540,00	2500	4500	No cumple
			467,00	2500	4500	No cumple
			515,00	2500	4500	No cumple
Base granular + 2% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	849,00	2500	4500	No cumple
			948,00	2500	4500	No cumple
			894,00	2500	4500	No cumple
Base granular + 3% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	1124,00	2500	4500	No cumple
			1098,00	2500	4500	No cumple
			1116,00	2500	4500	No cumple
Base granular + 5% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	1687,00	2500	4500	No cumple
			1688,00	2500	4500	No cumple
			1764,00	2500	4500	No cumple
Óptimo-Base granular + 7,1% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	--	2500	4500	No cumple
			--	2500	4500	No cumple
			--	2500	4500	No cumple
Base granular + 8% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	2875,00	2500	4500	Cumple
			2950,00	2500	4500	Cumple
			2911,00	2500	4500	Cumple
Subbase granular + 1% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	271,00	2500	4500	No cumple
			287,00	2500	4500	No cumple
			313,00	2500	4500	No cumple
Subbase granular + 2% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1		810,00	2500	4500	No cumple
			752,00	2500	4500	No cumple
			728,00	2500	4500	No cumple
Subbase granular + 3% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	1211,00	2500	4500	No cumple
			1107,00	2500	4500	No cumple
			1098,00	2500	4500	No cumple
Subbase granular + 5% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	1699,00	2500	4500	No cumple
			1690,00	2500	4500	No cumple
			1708,00	2500	4500	No cumple
Óptimo- Subbase granular + 7,5% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	-	2500	4500	No cumple
			-	2500	4500	No cumple
			-	2500	4500	No cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-613/614-13 Resistencia a la compresión (kPa)- 7 días de edad del espécimen			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 520-18
Subbase granular + 8% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	2779,00	2500	4500	Cumple
			2715,00	2500	4500	Cumple
			2561,00	2500	4500	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-613/614-13 Resistencia a la compresión (kPa)- 28 días de edad del espécimen
			Resultados Obtenidos
Base granular + 1% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	--
			--
			--
Base granular + 2% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	--
			--
			--
Base granular + 3% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	--
			--
			--
Base granular + 5% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	--
			--
			--
Óptimo-Base granular + 7,1% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	4665,00
			4720,00
			4620,00
Base granular + 8% cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	--
			--
			--
Subbase granular + 1% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	--
			--
			--
Subbase granular + 2% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1		--
			--
			--
Subbase granular + 3% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	--
			--
			--
		-	--

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-613/614-13 Resistencia a la compresión (kPa)- 28 días de edad del espécimen
			Resultados Obtenidos
Subbase granular + 5% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1		--
			--
Óptimo- Subbase granular + 7,5% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	4514,00
			4369,00
			4246,00
Subbase granular + 8% cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	--
			--
			--

Verificación del Diseño óptimo

- Módulo Resiliente de suelos y agregados **(INV E-156-13).**

Tabla 403. Resultados obtenidos del ensayo INV E 156-13 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico

Material	Muestra	% cemento	INV E-156-13 Módulo resiliente de suelos y agregados ($M_R=k_1\theta^{k2}$ MPa)			
		Resultado obtenido	k_1	k_2	θ (kPa)	M_R (MPa)
BG_C + Cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	7,1	2981.40	0.06	207.08	4049,25
SBG_C + Cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	7,5	2867.56	0.05	82.89	3580,44

Este parámetro no está especificado para los granulares mejorados con cemento hidráulico. Los valores obtenidos por las dos muestras se encuentran dentro de los valores típicos para este tipo de material. Este parámetro no se consideró en la actualización de las especificaciones porque el valor del Módulo Resiliente que deba cumplir el material depende del valor indicado para la capa en el diseño estructural del pavimento.

- Humedecimiento y secado de mezclas compactadas de suelo-cemento (Durabilidad) **(INV E-612-13).**

Tabla 404. Resultados obtenidos del ensayo INV E 612-13 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-612-13. Pérdida de suelo-cemento (%)			
			Resultados Obtenidos	Especificación min	Especificación máx	Según Especificación 520-18
BG_C + Cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	0,81%	-	14,00%	Cumple
SBG_C + Cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	1,56%	-	14,00%	Cumple

Las dos muestras (Base y Subbase mejorada), cumplieron con lo especificado para este tipo de material. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Resistencia a la compresión de cilindros moldeados de granular-cemento (7 días curado a una humedad relativa ente 95% y 100% y una temperatura entre 20° y 25° C) **(INV E-614-13).**

Tabla 405. Resultados obtenidos del ensayo INV E 614-13 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-614-13 Resistencia a la compresión (MPa)			
			Resultados Obtenidos	Especificación min	Especificación máx	Según Especificación 520-18
BG_C + Cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	4,67	2,50	-	Cumple
SBG_C + Cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	4,38	2,50	-	Cumple

En la actualización de las especificaciones se modificaron los valores mínimos de resistencia a la compresión, requiriéndose menores valores, y se eliminó la exigencia de valor máximo, cumpliendo las dos muestras (Base y Subbase mejorada) con lo especificado.

- Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada) **(EN 12697-24)**

Tabla 406. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Base granular mejorada con cemento hidráulico

Material	Muestra	Proyecto / Proveedor	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- b	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- α	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- ε_6 (με)
			Resultados Obtenidos	**Resultados Obtenidos**	**Resultados Obtenidos**
BG_C + Cemento hidráulico	P119-2 y P128-1	-	**T = 21,3°C, F= 2,5Hz**	**T = 21,3°C, F= 2,5Hz**	**T = 21,3°C, F= 2,5Hz**
			-0,16	6,25	31,30
SBG_C + Cemento hidráulico	P119-1 y P128-1	-	**T = 21,3°C, F= 2,5Hz**	**T = 21,3°C, F= 2,5Hz**	**T = 21,3°C, F= 2,5Hz**
			-0,171	5,848	38,78

Este parámetro no está especificado para los granulares mejorados con cemento. Este parámetro no se consideró en la actualización de las especificaciones porque los criterios de resistencia a la fatiga que deba cumplir el material dependen del valor indicado para la capa en el diseño estructural del pavimento.

H.3.5.20 BASE GRANULAR MEJORADA CON EMULSIÓN

H.3.5.20.1 Diseño grava-emulsión

- Diseño de mezclas de agregados, reciclados o sin reciclar, con emulsión asfáltica, mediante el método de inmersión – compresión **(INV E-622-13).**

Tabla 407. Resultados obtenidos del ensayo INV E 622-13 para el material Base granular mejorada con emulsión

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-622 Gravedad Específica Bulk - SECA	INV E-622 Gravedad Específica Bulk - INMERSIÓN	INV E-622 Resistencia a la compresión (kg/cm^2) - SECA	INV E-622 Resistencia a la compresión (kg/cm2) - INMERSIÓN	INV E-622 Indice de resistencia conservada
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base granular con emulsión asfáltica(3,3% emulsión)	P119-2 y P085-2	-	2,161	2,153	18,750	8,820	47,0
Base granular con emulsión asfáltica(5% emulsión)	P119-2 y P085-2	-	2,167	2,147	22,180	12,360	55,7
Base granular con emulsión asfáltica(6,7% emulsión)	P119-2 y P085-2	-	2,161	2,138	25,130	16,000	63,7
Base granular con emulsión asfáltica(8,3% emulsión)	P119-2 y P085-2	-	2,138	2,165	26,100	17,300	66,1
Base granular con emulsión	P119-2 y P085-2	-	2,122	2,135	24,370	16,210	66,5

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-622 Gravedad Específica Bulk - SECA	INV E-622 Gravedad Específica Bulk - INMERSIÓN	INV E-622 Resistencia a la compresión (kg/cm^2) - SECA	INV E-622 Resistencia a la compresión (kg/cm2) - INMERSIÓN	INV E-622 Indice de resistencia conservada
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
asfáltica(10% emulsión)							
Subbase granular con emulsión asfáltica(3,3% emulsión)	P119-1 y P085-2	-	2,140	2,150	19,200	7,000	36,4
Subbase granular con emulsión asfáltica(5% emulsión)	P119-1 y P085-2	-	2,152	2,156	21,400	10,940	51,1
Subbase granular con emulsión asfáltica(6,7% emulsión)	P119-1 y P085-2	-	2,143	2,157	23,360	14,100	60,2
Subbase granular con emulsión asfáltica(8,3% emulsión)	P119-1 y P085-2	-	2,160	2,119	23,150	14,680	63,4
Subbase granular con emulsión asfáltica(10% emulsión)	P119-1 y P085-2	-	2,108	2,107	21,700	13,900	63,9

H.3.5.20.2 Verificación del Diseño óptimo

- Diseño de mezclas de agregados, reciclados o sin reciclar, con emulsión asfáltica, mediante el método de inmersión – compresión (**INV E-622-13).**

Tabla 408. Resultados obtenidos del ensayo INV E 622-13 para el material Base granular mejorada con emulsión

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-622-13 Resistencia probetas curadas en seco (kPa)			
			Resultados Obtenidos	Especificación min	Especificación máx	Según Especificación 521-18
BG_C + Emulsión	P119-2 y P085-2	-	2448,72	2000,00	-	Cumple
SBG_C + Emulsión	P119-1 y P085-2	-	2320,25	1500,00	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-622-13 Resistencia conservada (%)			
			Resultados Obtenidos	Especificación min	Especificación máx	Según Especificación 521-18
BG_C + Emulsión	P119-2 y P085-2	-	67,2	75	-	No cumple
SBG_C + Emulsión	P119-1 y P085-2	-	65,8	75	-	No cumple

Todas las muestras ensayadas cumplieron con el requisito de Resistencia de briquetas curadas en seco (mínimo 2000 kPa para Base Granular, y mínimo 1500 kPa para Subbase Granular). Sin embargo, ninguna de las muestras ensayadas cumplió con el requisito de Resistencia conservada tras curado húmedo (mínimo 75%); lo anterior es un indicador de que se debe utilizar un mejorador de adherencia para cumplir con este requisito.

- Efecto del agua sobre la resistencia a la compresión de las mezclas asfálticas compactadas (ensayo de inmersión-compresión) **(INV E-738-13).**

Tabla 409. Resultados obtenidos del ensayo INV E 738-13 para el material Base granular mejorada con emulsión

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-738 Gravedad Específica Bulk - SECA	INV E-738 Gravedad Específica Bulk - INMERSIÓN	INV E-738 Resistencia a la compresión (kg/cm^2) - SECA
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base granular con emulsión asfáltica(8,4% emulsión)	P119-2 y P085-2	-	2,161	2,174	24,970
Subbase granular con emulsión asfáltica(8,7% emulsión)	P119-1 y P085-2	-	2,177	2,143	23,660

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-738 Resistencia a la compresión (kg/cm2) - INMERSIÓN	"INV E-738 Indice de resistencia conservada"
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Base granular con emulsión asfáltica(8,4% emulsión)	P119-2 y P085-2	-	16,780	67,200
Subbase granular con emulsión asfáltica(8,7% emulsión)	P119-1 y P085-2	-	15,580	65,800

- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas **(EN 12697-26).**

Tabla 410. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-26 para el material Base granular mejorada con emulsión

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN-12697-26 Modulo resiliente T=20°C y F=8Hz (MPa)
			Resultados Obtenidos
BG_C + Emulsión	P119-2 y P085-2	-	1123,00
SBG_C + Emulsión	P119-1 y P085-2	-	1067,67

Este parámetro no está especificado para los granulares mejorados con emulsión asfáltica. Los valores obtenidos por las dos muestras se encuentran dentro de los valores típicos para este tipo de material. Este parámetro no se consideró en la actualización de las especificaciones porque el valor del Módulo Resiliente que deba cumplir el material depende del valor indicado para la capa en el diseño estructural del pavimento.

- Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada) **(EN 12697-24)**

Tabla 411. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Base granular mejorada con emulsión

Material	Muestra	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- b	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- α
		Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BG_C + Emulsión	P119-2 y P085-2	**T = 20.1°C, F= 2,5Hz**	**T = 20.1°C, F= 2,5Hz**
		-0,101	9,90
SBG_C + Emulsión	P119-1 y P085-2	**T = 20.1°C, F= 2,5Hz**	**T = 20.1°C, F= 2,5Hz**
		-0,100	10,00

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- ε_6 (με)	
			Resultados Obtenidos	Según Especificación 521-18
BG_C + Emulsión	P119-2 y P085-2	-	T = 20.1°C, F= 2,5Hz	
			74,46	No cumple
SBG_C + Emulsión	P119-1 y P085-2	-	T = 20.1°C, F= 2,5Hz	
			79,48	No cumple

Este parámetro no está especificado para los granulares mejorados con emulsión asfáltica. Este parámetro no se consideró en la actualización de las especificaciones porque los criterios de resistencia a la fatiga que deba cumplir el material dependen del valor indicado para la capa en el diseño estructural del pavimento

H.3.5.21 BASE GRANULAR MEJORADA CON CEMENTO ASFÁLTICO

Las muestras ensayadas fueron: P119-2 (BG_C, P047-5), y P119-1 (SBG_C, P047-5).

H.3.5.21.1 Diseño grava-asfalto

- Diseño de mezcla asfáltica (diseño volumétrico), método Marshall **(-)**

H.3.5.21.2 Verificación del Diseño óptimo

- Susceptibilidad al agua de mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta **(INV E-725-13).**

Tabla 412. Resultados obtenidos del ensayo INV E-725-13 para el material Base granular mejorada con cemento asfáltico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-725-13 Relación húmedo/seco (%)			
			Resultados Obtenidos	Especificación min	Especificación máx	Según Especificación 522-18
		-	72,3	70	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-725-13 Relación húmedo/seco (%)			
			Resultados Obtenidos	Especificación min	Especificación máx	Según Especificación 522-18
BG_C + Asfalto	P119-2 y P047-5					
SBG_C + Asfalto	P119-1 y P047-5	-	71,9	70	-	Cumple

Las dos muestras (Base y Subbase mejorada), cumplieron con lo especificado para este tipo de material. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Susceptibilidad al agua de mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta **(INV E-748-13).**

Tabla 413. Resultados obtenidos del ensayo INV E-748-13 para el material Base granular mejorada con cemento asfáltico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-748-13 Flujo (mm)			
			Resultados Obtenidos	Especificación min	Especificación máx	Según Especificación 522-18
BG_C + Asfalto	P119-2 y P047-5	-	3,2	2	4	Cumple
SBG_C + Asfalto	P119-1 y P047-5	-	3,0	2	4	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-748-13 Estabilidad (kg)			
			Resultados Obtenidos	Especificación min	Especificación máx	Según Especificación 522-18
BG_C + Asfalto	P119-2 y P047-5	-	1335	750	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-748-13 Estabilidad (kg)			
			Resultados Obtenidos	Especificación min	Especificación máx	Según Especificación 522-18
SBG_C + Asfalto	P119-1 y P047-5	-	1290	750	-	Cumple

Las dos muestras (Base y Subbase mejorada), cumplieron con lo especificado para este tipo de material (Estabilidad y Flujo). Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada) **(EN 12697-24)**

Tabla 414. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Base granular mejorada con cemento asfáltico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- b	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- α
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
BG_C + Asfalto	P119-2 y P047-5	-	**T = 20.1°C, F= 2,5Hz**	**T = 20.1°C, F= 2,5Hz**
			-0,069	14,493
SBG_C + Asfalto	P119-1 y P047-5	-	**T = 20.1°C, F= 2,5Hz**	**T = 20.1°C, F= 2,5Hz**
			-0,137	7,299

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- ε_6 (με)
			Resultados Obtenidos
BG_C + Asfalto	P119-2 y P047-5	-	**T = 20.1°C, F= 2,5Hz**
			253,178
SBG_C + Asfalto	P119-1 y P047-5	-	**T = 20.1°C, F= 2,5Hz**
			176,589

Este parámetro no está especificado para los granulares mejorados con cemento. Este parámetro no se consideró en la actualización de las especificaciones porque los criterios de resistencia a la fatiga que deba cumplir el material dependen del valor indicado para la capa en el diseño estructural del pavimento.

- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas **(EN 12697-26).**

Tabla 415. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-26 para el material Base granular mejorada con cemento asfáltico

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN-12697-26
			Resultados Obtenidos
BG_C + Asfalto	P119-2 y P047-5	-	5545,33
SBG_C + Asfalto	P119-1 y P047-5	-	5347,00

Este parámetro no está especificado para los granulares mejorados con emulsión asfáltica. Los valores obtenidos por las dos muestras se encuentran dentro de los valores típicos para este tipo de material. Este parámetro no se consideró en la actualización de las especificaciones porque el valor del Módulo Resiliente que deba cumplir el material depende del valor indicado para la capa en el diseño estructural del pavimento.

H.3.5.22 MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ALTO MÓDULO

H.3.5.22.1 Elaboradas en laboratorio

Las muestras ensayadas fueron: P098-1 (elaborada con asfalto 40/50), y P112-1 (elaborada con asfalto tipo V).

- Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta (**INV E 725-13**):

Tabla 416. Resultados obtenidos del ensayo INV E 725-13 para el material Mezclas asfálticas de Alto Módulo

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	% asfalto	INV E-725-13 Relación húmedo/seco (%)			
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor max	Según Especificación 621-18
Asfalto 40/50	P098-1	-	4,7%	102%	80%	-	Cumple
Asfalto Tipo V	P112-1	-	5%	95%	80%	-	Cumple

Las dos mezclas cumplieron con el requisito mínimo de susceptibilidad a la humedad. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Diseño Marshall (**INV E-748-13**):

Tabla 417. Resultados obtenidos del ensayo INV E 748-13 para el material Mezclas asfálticas de Alto Módulo

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	% asfalto	INV E-748-13 Flujo (mm)			
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor max	Según Especificación 621-18
Asfalto 40/50	P098-1	-	4,7%	2,9	2	3	Cumple
Asfalto Tipo V	P112-1	-	5%	3	2	3	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	% asfalto	INV E-748-13 Estabilidad (kg)			
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor max	Según Especificación 621-18
Asfalto 40/50	P098-1	-	4,7%	1715	1500	-	Cumple
Asfalto Tipo V	P112-1	-	5%	1900	1500	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	% asfalto	INV E-748-13 Relación E/F			
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor max	Según Especificación 621-18
Asfalto 40/50	P098-1	-	4,7%	591,38	-	-	-
Asfalto Tipo V	P112-1	-	5%	633,33	-	-	-

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	% asfalto	INV E-748-13 Vacíos con aire Va (%)			
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor max	Según Especificación 621-18
Asfalto 40/50	P098-1	-	4,7%	5%	4%	6%	Cumple
Asfalto Tipo V	P112-1	-	5%	6%	4%	6%	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	% asfalto	INV E-748-13 Vacíos llenos de asfalto VFA (%)			
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor max	Según Especificación 621-18
Asfalto 40/50	P098-1	-	4,7%	65%	63%	75%	Cumple
Asfalto Tipo V	P112-1	-	5%	64%	63%	75%	Cumple

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	% asfalto	INV E-748-13 Vacíos en agregados VMA (%)			
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor max	Según Especificación 621-18
Asfalto 40/50	P098-1	-	4,7%	14,25	14	-	Cumple
Asfalto Tipo V	P112-1	-	5%	15,5	14	-	Cumple

Las dos mezclas cumplieron con los parámetros para su diseño por la metodología Marshall (Estabilidad, Flujo, relación Estabilidad/Flujo, Va, VFA, VMA). Estos parámetros no fueron modificados en la actualización de las especificaciones.

- Módulo Resiliente (**UNE EN-12697-26**)

Tabla 418. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-26 para el material Mezclas asfálticas de Alto Módulo

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	% asfalto	UNE EN-12697-26 Modulo resiliente T=20°C y F=10Hz (MPa)			
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor max	Según Especificación 621-18
Asfalto 40/50	P098-1	-	4,7%	11365,5	10000	-	Cumple
				13030			Cumple
				10927			Cumple
Asfalto Tipo V	P112-1	-	5%	3625	10000	-	No cumple
				4443			No cumple
				3813			No cumple

Sólo la mezcla elaborada con asfalto 40/50 (P098-1), cumplió con el valor mínimo de módulo resiliente especificado a 20 °C y 10 Hz, obteniéndose valores promedio de 11774 MPa. La mezcla elaborada con asfalto tipo V, obtuvo un valor promedio de 3960 MPa, muy inferior a 10000 MPa exigido en la especificación. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

En el contrato IDU 038-2012, en el que se evaluó el módulo resiliente de una mezcla asfáltica de alto módulo elaborada con asfalto tipo V, su módulo a 20 °C y 10 Hz fue de 9976 MPa, valor ligeramente al especificado.

Aunque se define el asfalto tipo V como un asfalto modificado de alta consistencia, recomendado para la manufactura de mezclas asfálticas de alto módulo, de acuerdo a los resultados aquí obtenidos permiten cuestionar su desempeño para elaboración de este tipo de mezclas. Se concluye también que, el asfalto 40/50, por ser un asfalto duro, ofrece buenos resultados de desempeño por módulo para este tipo de mezclas asfálticas.

- Resistencia a la fatiga (**UNE EN-12697-24**):

Tabla 419. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Mezclas asfálticas de Alto Módulo

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- b	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- α
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
Asfalto 40/50	P098-1	-	T = 21,3°C, F= 2,5Hz	
			-0,27	3,77
Asfalto Tipo V	P112-1	-	T = 20°C, F= 2,5Hz	
			-0,28	3,56

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- ε_6 (με)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor max	Según Especificación 620-18
Asfalto 40/50	P098-1	-	T = 21,3°C, F= 2,5Hz			
			46,44	100	-	No cumple
Asfalto Tipo V	P112-1	-	T = 20°C, F= 2,5Hz			
			56,25	100	-	No cumple

En la actualización de las especificaciones se incorporó el requisito de deformación mínima al millón de ciclos, el cual debe ser mayor o igual a 100 µm/m (a 20 °C, 30 Hz). De acuerdo con los resultados obtenidos, estos valores están por debajo de lo recomendado, por lo que no cumplirían el criterio de fatiga. Es posible que no se cumpliera este requisito debido a la calidad de los asfaltos utilizados para la elaboración de la mezcla asfáltica de alto módulo (Tipo V y 40/50), por lo que se recomienda controlar las condiciones de calidad de los mismos.

- Ensayo de resistencia a la deformación permanente (**UNE EN-12697-25:2000**):

Tabla 420. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-2000 para el material Mezclas asfálticas de Alto Módulo

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN-12697-2000 Ensayo de resistencia a la deformación permanente - εN (%) @ 3600 pulsos			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor max	Según Especificación 621-18
Asfalto 40/50	P098-1	-	0,3414	0,05	0,6	Cumple
			0,3293	0,05	0,6	Cumple
Asfalto Tipo V	P112-1	-	0,5403	0,05	0,6	Cumple
			0,4111	0,05	0,6	Cumple

Los resultados de la norma de ensayo no se encuentran especificados por el IDU; sin embargo, la especificación 621-18 contempla lo siguiente "Se podrán emplear otros métodos de pista de ensayo de laboratorio contemplados en la norma EN-12697-22, caso en el cual los criterios de aceptación deberán definirse con base en especificaciones internacionales de comprobada efectividad". El ensayo que se adelantó en la Pontificia Universidad Javeriana corresponde al Método A de la norma UNE EN-12697-25:2000, el cual es un ensayo de compresión uniaxial, donde una probeta cilíndrica de 150 mm de diámetro acondicionada a 40 °C, se somete a pulsos de carga axial de 100 kPa a una frecuencia de 0.5 Hz; de este ensayo se determina la deformación unitaria axial acumulada a 3600 ciclos. En la literatura revisada, se encontró que este parámetro debe encontrarse entre 0.05% y 0.6%; por lo anterior, las dos mezclas cumplen con el requisito de deformación permanente o ahuellamiento.

H.3.5.23 MEZCLAS ASFÁLTICAS DENSAS EN FRÍO

La muestra ensayada fue P039-1.

- Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta (TSR) **(INV E-725-13).**

Tabla 421. Resultados obtenidos del ensayo INV E 725-13 para el material Mezclas asfálticas densas en frío

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	% emulsión	INV E-725-13 Relación húmedo/seco (%)
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos
MDF-20	P039-1	-	8,7%	78%

- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas **(UNE EN-12697-26).**

Tabla 422 Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-26 para el material Mezclas asfálticas densas en frío

Material	Muestra	UNE EN-12697-26 Modulo resiliente T=20°C y F=10Hz (MPa)
		Resultados Obtenidos
MDF-20	P039-1	1109
		1232
		1160

Este parámetro no está especificado para mezclas asfálticas densas en frío. El valor promedio del módulo resiliente a 20 °C y 10 Hz (1167 MPa), se encuentra dentro del valor esperado para este tipo de mezcla asfáltica (entre 1000 MPa y 2000 MPa). Este parámetro no se consideró en la actualización de las especificaciones porque el valor del Módulo Resiliente que deba cumplir el material depende del valor indicado para la capa en el diseño estructural del pavimento

- Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada) **(EN 12697-24)**

Tabla 423. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Mezclas asfálticas densas en frío

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	% emulsión	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga-b	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga-α	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga-ε_6 (με)
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
MDF-20	P039-1	-	8.7%	T = 20°C, F= 2,5Hz		
				-0,11	9,35	67,65

Los parámetros de ley de fatiga (ε_6) para mezclas asfálticas no se encuentran especificados por el IDU. La deformación al millón de ciclos está ligeramente por debajo del valor esperado para este tipo de mezcla asfáltica (entre 70 µm/m y 80 µm/m, @ 20 °C, 30 Hz). Este parámetro no se consideró en la actualización de las especificaciones porque los criterios de resistencia a la fatiga que deba cumplir el material dependen del valor indicado para la capa en el diseño estructural del pavimento.

- Resistencia bajo carga repetida (ahuellamiento) **(UNE-EN 12697-2000)**

Tabla 424. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-2000 para el material Mezclas asfálticas densas en frío

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	% emulsión	UNE EN-12697-2000 Ensayo de resistencia a la deformación permanente - εN (%) @ 3600 pulsos			
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos	Valor mín	Valor máx	Según Especificación 628-18
MDF-20	P039-1	-	8,7%	0,4512	0,05	0,6	Cumple
				0,4798	0,05	0,6	Cumple

Los resultados de la norma de ensayo no se encuentran especificados por el IDU; sin embargo, la especificación 628-18 contempla lo siguiente “Se podrán emplear otros métodos de pista de ensayo de laboratorio contemplados en la norma EN-12697-22, caso en el cual los criterios de aceptación deberán definirse con base en especificaciones

internacionales de comprobada efectividad". El ensayo que se adelantó en la Pontificia Universidad Javeriana corresponde al Método A de la norma UNE EN-12697-25:2000, el cual es un ensayo de compresión uniaxial, donde una probeta cilíndrica de 150 mm de diámetro acondicionada a 40 °C, se somete a pulsos de carga axial de 100 kPa a una frecuencia de 0.5 Hz; de este ensayo se determina la deformación unitaria axial acumulada a 3600 ciclos. En la literatura revisada, se encontró que este parámetro debe encontrarse entre 0.05% y 0.6%; por lo anterior, la mezcla cumple con el requisito de deformación permanente o ahuellamiento.

H.3.5.24 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA ALMACENAJE EN FRÍO

Las muestras ensayadas fueron: P057-1_1, P057-1_2, P057-1_3.

- Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (por tamizado e hidrometría) **(INV E 123-13)**

La respuesta mecánica y dinámica de una mezcla asfáltica esta directamente relacionada con la cantidad de llenante mineral (el llenante mineral es es laterial que pasa el tamiz 0.075 µm). En el ensayo granulométrico realizado a las tres muestras ensayadas, no se encontró el material que pasara el tamiz No. 200 (0.075 µm), por lo cual ninguna de las tres muestras cumple el requisito mínimio de 6% para este tamaño de partículas.

Tabla 425. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para el material Mezclas asfálticas en caliente para almacenaje en frío

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-123 Tamaño máximo (mm)
			Resultados Obtenidos
Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-Street Asphalt	P057-1_1	PUJ	0,25
Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-Wilcatec-M2	P057-1_2	PUJ	0,25
Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-MPI-M3	P057-1_3	PUJ	0,25

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-123 Pasa Tamiz No 200 (%)
			Resultados Obtenidos
Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-Street Asphalt	P057-1_1	PUJ	0
Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-Wilcatec-M2	P057-1_2	PUJ	0
Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-MPI-M3	P057-1_3	PUJ	0

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-123 Pasa Tamiz No 10 (%)
			Resultados Obtenidos
Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-Street Asphalt	P057-1_1	PUJ	5
Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-Wilcatec-M2	P057-1_2	PUJ	12
Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-MPI-M3	P057-1_3	PUJ	9

Tabla 426. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P057-1_1 Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-Street Asphalt

TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
100,0	4"	100%	±	0,00%	*
75,0	3"	100%	±	0,00%	*
63,0	2"	100%		0,00%	*
50,0	1 1/2"	100%	±	0,00%	*
37,5	1"	100%	±	0,00%	*
25,0	3/4"	100%	±	0,00%	*
19,0	1/2"	98%	±	0,95%	*
12,5	3/8"	97%	±	1,92%	*
9,5	No. 4	44%	±	1,03%	*
4,8	No. 40	8%	±	0,16%	*
2,000	No. 10	5%	±	0,06%	*
0,425	No. 40	3%	±	0,07%	*
0,180	No. 80	0%	±	0,00%	*
0,075	No. 200	0%	±	0,00%	*

Análisis por Hidrómetro:

Peso de la muestra seca al aire	---	(g)
Humedad higroscopica	---	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	---	(g)
Gravedad Específica de finos	---	(Gs)
Factor de Correción por Gs	---	(α)
Corrección por Defloculante	---	(g/l)

Análisis por Tamizado:

Tamaño máximo	0,25	(mm)
Gravas	3	(%)
Arenas	97	(%)
Arena Gruesa	53	(%)
Arena Media	39	(%)
Arena Fina	5	(%)
Finos	0	(%)

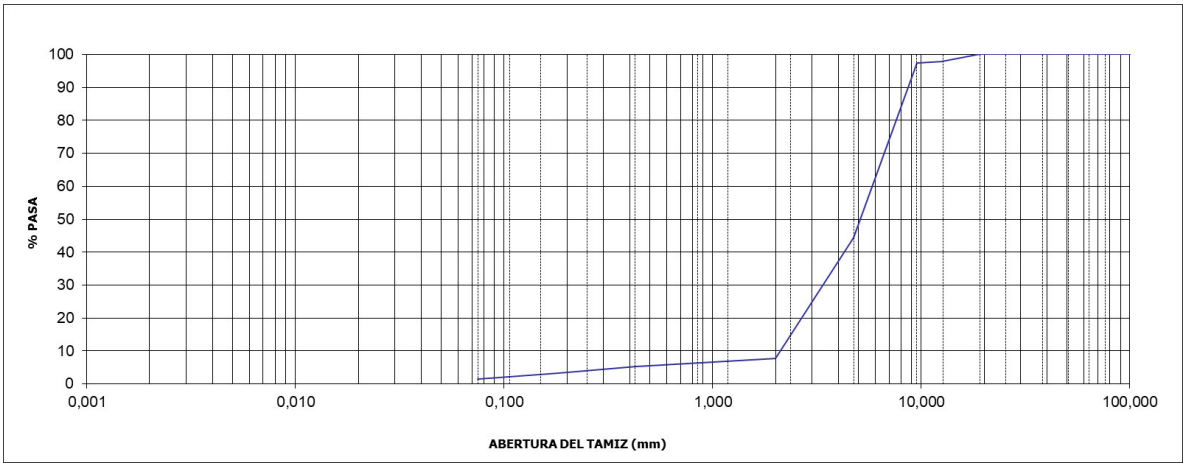


Tabla 427. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P057-1_2 Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-Wilcatec-M2

TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
100,0	4"	100%	±	0,00%	*
75,0	3"	100%	±	0,00%	*
63,0	2"	100%		0,00%	*
50,0	1 1/2"	100%	±	0,00%	*
37,5	1"	100%	±	0,00%	*
25,0	3/4"	100%	±	0,00%	*
19,0	1/2"	92%	±	0,89%	*
12,5	3/8"	78%	±	1,55%	*
9,5	No. 4	52%	±	1,21%	*
4,8	No. 40	30%	±	0,60%	*
2,000	No. 10	12%	±	0,14%	*
0,425	No. 40	4%	±	0,09%	*
0,180	No. 80	0%	±	0,00%	*
0,075	No. 200	0%	±	0,00%	*

Análisis por Hidrómetro:

Peso de la muestra seca al aire	---	(g)
Humedad higroscopica	---	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	---	(g)
Gravedad Específica de finos	---	(Gs)
Factor de Correción por Gs	---	(α)
Corrección por Defloculante	---	(g/l)

Análisis por Tamizado:

Tamaño máximo	0,25	(mm)
Gravas	22	(%)
Arenas	78	(%)
Arena Gruesa	26	(%)
Arena Media	40	(%)
Arena Fina	12	(%)
Finos	0	(%)

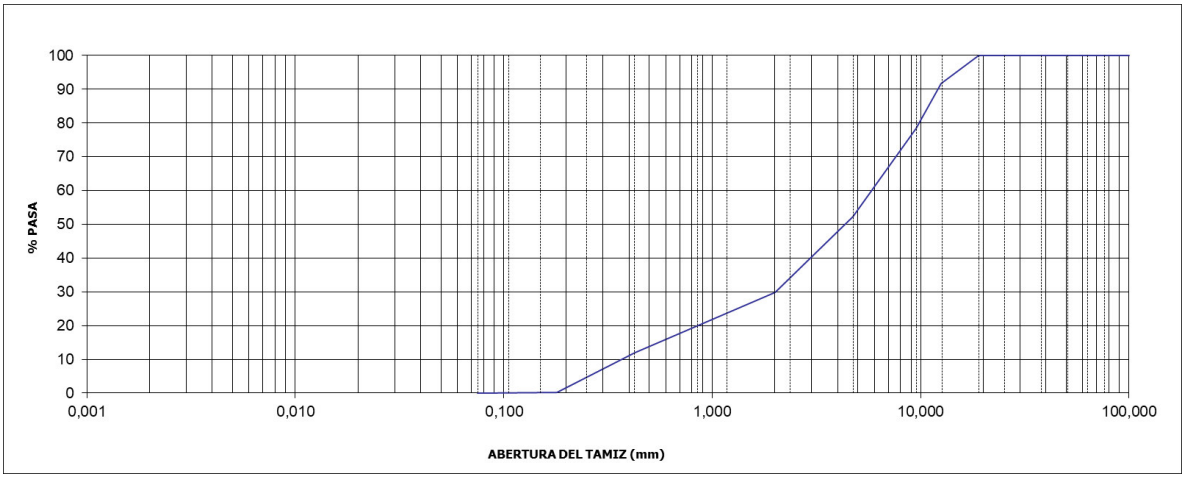


Tabla 428. Resultados obtenidos del ensayo INV E 123-13 para la referencia P057-1_3 Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-MPI-M3

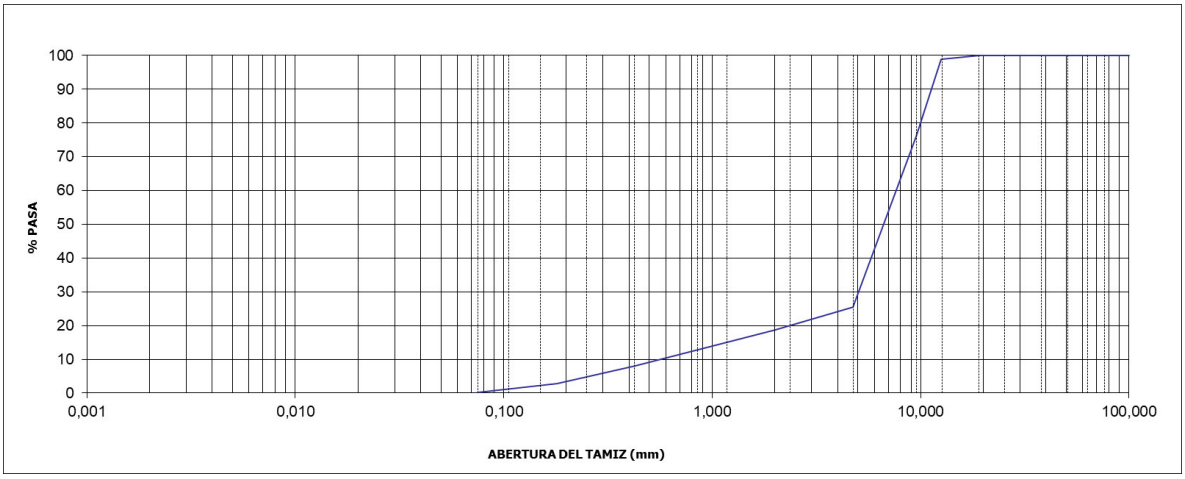
TAMIZ (mm)	TAMIZ (")	% PASA			
100,0	4"	100%	±	0,00%	*
75,0	3"	100%	±	0,00%	*
63,0	2"	100%		0,00%	*
50,0	1 1/2"	100%	±	0,00%	*
37,5	1"	100%	±	0,00%	*
25,0	3/4"	100%	±	0,00%	*
19,0	1/2"	99%	±	0,96%	*
12,5	3/8"	76%	±	1,50%	*
9,5	No. 4	26%	±	0,60%	*
4,8	No. 40	19%	±	0,37%	*
2,000	No. 10	9%	±	0,11%	*
0,425	No. 40	3%	±	0,05%	*
0,180	No. 80	0,2%	±	0,01%	*
0,075	No. 200	0%	±	0,00%	*

Análisis por Hidrómetro:

Peso de la muestra seca al aire	---	(g)
Humedad higroscopica	---	(%)
Peso corregido por humedad higroscópica	---	(g)
Gravedad Específica de finos	---	(Gs)
Factor de Correción por Gs	---	(α)
Corrección por Defloculante	---	(g/l)

Análisis por Tamizado:

Tamaño máximo	0,25	(mm)
Gravas	24	(%)
Arenas	76	(%)
Arena Gruesa	50	(%)
Arena Media	16	(%)
Arena Fina	9	(%)
Finos	0	(%)



Diseño de mezcla asfáltica (diseño volumétrico), método Marshall

- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas **(EN 12697-26)**

Tabla 429. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-26 para el material Mezclas asfálticas en caliente para almacenaje en frío

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	EN 12697-26 Ensayo de tensión indirecta T=10°C y F= 10 Hz (MPa)
			Resultados Obtenidos
Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-Wilcatec-M2	P057-1_2	PUJ	4960.5
			4763
			4489
			2223
			2206
			2215
Mezcla asfáltica en caliente para almacenaje en frío-MPI-M3	P057-1_3	PUJ	6517
			6476
			7100

Este parámetro no está especificado para este tipo de mezcla, y tampoco se consideró en la actualización de las especificaciones.

H.3.5.25 MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON GCR (VÍA SECA)

Las muestras ensayadas fueron P003-1, P012-1 y P026-1. Para cada mezcla se cambió el proveedor del GCR. El IDU no especifica mezclas asfálticas mejoradas con GCR por vía seca; sin embargo, si cuenta con borradores de especificaciones realizados en proyectos de consultoría previos (Contrato IDU 366-01), y elaborados al interior del IDU (Sección - 15). En este análisis se comparan los resultados obtenidos con los especificados para mezclas asfálticas densas en caliente.

- Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta (TSR) **(INV E-725-13).**

Tabla 430. Resultados obtenidos del ensayo INV E 725-13 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía seca)

Muestra	Proyecto/ Proveedor	% asfalto	INV E-725-13 Relación húmedo/seco (%)			
		Resultado obtenido	Resultados Obtenidos	Valor mín.	Valor Max	Según Especificación 626-18
P003-1	-	5,2%	80,3%	80%	-	Cumple
P012-1	-	5,4%	85,3%	80%	-	Cumple
P026-1	-	5,9%	91,3%	80%	-	Cumple

Las tres mezclas cumplieron con el requisito mínimo de susceptibilidad a la humedad. Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Estabilidad y flujo **(INV E-748-13).**

Tabla 431. Resultados obtenidos del ensayo INV E 748-13 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía seca)

Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-748-13 Flujo (mm)			
		Resultados Obtenidos	Valor mín.	Valor Max	Según Especificación 626-18
P003-1	-	3,1	2	3,5	Cumple
P012-1	-	3,4	2	3,5	Cumple
P026-1	-	3,5	2	3,5	Cumple

Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-748-13 Estabilidad (kg)			
		Resultados Obtenidos	Valor mín.	Valor Max	Según Especificación 626-18
P003-1	-	1500	900	-	Cumple
P012-1	-	1610	900	-	Cumple
P026-1	-	1400	900	-	Cumple

Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-748-13 Relación E/F			
		Resultados Obtenidos	Valor mín.	Valor Max	Según Especificación 626-18
P003-1	-	483,87	300	600	Cumple
P012-1	-	473,53	300	600	Cumple
P026-1	-	400,00	300	500	Cumple

Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-748-13 Vacíos con aire Va (%)			
		Resultados Obtenidos	Valor mín.	Valor Max	Según Especificación 626-18
P003-1	-	4,9%	4%	6%	Cumple
P012-1	-	4,5%	4%	6%	Cumple
P026-1	-	3,8%	3%	5%	Cumple

Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-748-13 Vacíos llenos de asfalto VFA (%)
		Resultados Obtenidos
P003-1	-	68%
P012-1	-	71%
P026-1	-	75%

Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-748-13 Vacíos en agregados VMA (%)			
		Resultados Obtenidos	Valor mín.	Valor Max	Según Especificación 626-18
P003-1	-	15,8	15	-	Cumple
P012-1	-	15,2	15	-	Cumple
P026-1	-	15,2	15	-	Cumple

Las tres mezclas cumplieron con los parámetros para su diseño por la metodología Marshall (Estabilidad, Flujo, relación Estabilidad/Flujo, Va, VFA, VMA). Estos parámetros no fueron modificados en la actualización de las especificaciones.

- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas **(UNE EN-12697-26)**

Tabla 432. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-26 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía seca)

Material	Muestra	Proyecto/Proveedor	% asfalto	UNE EN-12697-26 Modulo resiliente T=20°C y F=10Hz (MPa)
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos
MD-12	P003-1	-	5,2%	5660.0
				3963.5
				4077.0
MD-12	P012-1	-	5,4%	5217.0
				5692.0
				5626.0
MD-12	P026-1	-	5,9%	1060.0
				-
				-

Los valores del módulo resiliente a 20 °C y 10 Hz de las muestras P003-1 y P012-1 (5039 MPa), están muy por encima del módulo esperado para una mezcla asfáltica en caliente mejorada con GCR por vía seca (entre 1000 MPa y 3000 MPa); la muestra P026-1 sí obtuvo un valor típico para estas mezclas asfálticas (1060 MPa). Este parámetro no se consideró en la actualización de las especificaciones porque el valor del Módulo Resiliente que deba cumplir el material depende del valor indicado para la capa en el diseño estructural del pavimento.

- Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada) (**EN 12697-24)**

Tabla 433. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-24 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía seca)

Material	Muestra	Proyecto/Proveedor	% asfalto	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- ε_6 (με)
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos
MD-12	P003-1	-	5,2%	**T = 21.3°C, F= 2,5Hz**
				74,09
MD-12	P012-1	-	5,4%	**T = 21.3°C, F= 2,5Hz**
				22,82
MD-12	P026-1	-	5,9%	**T = 21.3°C, F= 2,5Hz**
				66,50

Los parámetros de ley de fatiga (ε_6) para mezclas asfálticas densas en caliente convencionales no se encuentran especificados por el IDU. Sin embargo, para este tipo de mezclas asfálticas se espera que la deformación al millón de ciclos esté entre 80 µm/m y 90 µm/m (20 °C, 30 Hz). Las muestras P003-1 y P026-1 obtuvieron valores cercanos a lo esperado, y la muestra P012-1 obtuvo un valor muy inferior (22.82 µm/m). Este parámetro no se consideró en la actualización de las especificaciones porque los criterios de resistencia a la fatiga que deba cumplir el material dependen del valor indicado para la capa en el diseño estructural del pavimento

- Resistencia bajo carga repetida (ahuellamiento) (**UNE-EN 12697-2000).**

Tabla 434. Resultados obtenidos del ensayo EN 12697-2000 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía seca)

Material	Muestra	Proyecto/Proveedor	UNE EN-12697-2000 Ensayo de resistencia a la deformación permanente - εN (%) @ 3600 pulsos			
			Resultados Obtenidos	Valor mín	Valor máx	Según Especificación 626-18
MD-12	P003-1	-	0.4512	0,05	0,6	Cumple
			0.4798	0,05	0,6	Cumple
MD-12	P012-1	-	0.4512	0,05	0,6	Cumple
			0.3757	0,05	0,6	Cumple
MD-12	P026-1	-	0.8376	0,05	0,6	No cumple
			1.0007	0,05	0,6	No cumple

Los resultados de la norma de ensayo no se encuentran especificados por el IDU; sin embargo, la especificación 626-18 contempla lo siguiente “Se podrán emplear otros métodos de pista de ensayo de laboratorio contemplados en la norma EN-12697-22, caso en el cual los criterios de aceptación deberán definirse con base en especificaciones internacionales de comprobada efectividad”. El ensayo que se adelantó en la Pontificia Universidad Javeriana corresponde al Método A de la norma UNE EN-12697-25:2000, el cual es un ensayo de compresión uniaxial, donde una probeta cilíndrica de 150 mm de diámetro acondicionada a 40 °C, se somete a pulsos de carga axial de 100 kPa a una frecuencia de 0.5 Hz; de este ensayo se determina la deformación unitaria axial acumulada a 3600 ciclos. En la literatura revisada, se encontró que este parámetro debe encontrarse entre 0.05% y 0.6%.

El resultado de las muestras P003-1 y P012-1 cumplen con este requisito de deformación permanente o ahuellamiento, mientras que el de la muestra P026-1 es un valor muy inferior.

H.3.5.26 MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON GCR (VÍA HÚMEDA)

H.3.5.26.1 Diseño de mezcla asfáltica, método Marshall

- Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta (TSR) **(INV E-725-13).**

Tabla 435. Resultados obtenidos del ensayo INV E 725-13 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía humeda)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	% asfalto	INV E-725-13 Resistencia a la tensión (kPa)
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos
MA-GCR	P034-1	HUMBERTO QUINTERO	6,0%	1306,8
				1536,8
				1464,9

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	INV E-725-13 Relación de resistencia a la tensión (RRT) (RTH/RTS)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 625-18
MA-GCR	P034-1	HUMBERTO QUINTERO	92,7	75%	-	Cumple

La mezcla cumplió con el requisito mínimo de susceptibilidad a la humedad. El valor especificado por el IDU es conservador (75%; 560-11), comparado con el especificado por el ICONTEC (80%; NTC 6246). Este parámetro no fue modificado en la actualización de las especificaciones.

- Estabilidad y flujo **(INV E-748-13).**

Tabla 436. Resultados obtenidos del ensayo INV E 748-13 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía humeda)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	% asfalto	INV E-748-13 Flujo (mm)			
			Resultado obtenido	Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 625-18
MA-GCR	P034-1	HUMBERTO QUINTERO	6,0%	4	2,5	5	Cumple

Material	Muestra	Proyecto /Proveedor	INV E-748-13 Estabilidad (kg)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 625-18
MA-GCR	P034-1	HUMBERTO QUINTERO	2220	950	-	Cumple

Material	Muestra	Proyecto /Proveedor	INV E-748-13 Relación E/F
			Resultados Obtenidos
MA-GCR	P034-1	HUMBERTO QUINTERO	555

Material	Muestra	Proyecto /Proveedor	INV E-748-13 Vacíos con aire Va (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 625-18
MA-GCR	P034-1	HUMBERTO QUINTERO	4,7%	4%	6%	Cumple

Material	Muestra	Proyecto /Proveedor	INV E-748-13 Vacíos llenos de asfalto VFA (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 625-18
MA-GCR	P034-1	HUMBERTO QUINTERO	73%	65%	75%	Cumple

Material	Muestra	Proyecto /Proveedor	INV E-748-13 Vacíos en agregados VMA (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor máx	Según Especificación 625-18
MA-GCR	P034-1	HUMBERTO QUINTERO	17,38	15	-	Cumple

La mezcla asfáltica cumplió con los parámetros especificados en la actualización de la especificación, para el diseño de este tipo de mezcla por la metodología Marshall (Estabilidad, Flujo, relación Estabilidad/Flujo, Va, VFA, VMA).

- Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas **(UNE EN-12697-26).**

Tabla 437. Resultados obtenidos del ensayo EN 12698-26 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía humeda)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN-12697-26 Modulo resiliente T=20°C y F=10Hz (MPa)
			Resultados Obtenidos
MA-GCR	P034-1	HUMBERTO QUINTERO	7060
			7087
			-

El valor del módulo resiliente a 20 °C y 10 Hz está acorde con el módulo esperado para este tipo de mezcla asfáltica (aproximadamente 7000 MPa). El IDU sólo especifica valores de módulo resiliente para las mezclas de alto módulo. Este parámetro no se consideró en la actualización de las especificaciones porque el valor del Módulo Resiliente que deba cumplir el material depende del valor indicado para la capa en el diseño estructural del pavimento.

- Resistencia a la Fatiga mediante el ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas usando el NAT (@ deformación controlada) (**EN 12697-24)**

Tabla 438. Resultados obtenidos del ensayo EN 12698-24 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía humeda)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- b	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- α	UNE EN-12697-24 Resistencia a la fatiga- ε_6 (με)
			Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos	Resultados Obtenidos
			T=20°C, F=2,5 Hz		
MA-GCR	P034-1	HUMBERTO QUINTERO	-0,55	1,82	5,88

Los parámetros de ley de fatiga (ε_6) para este tipo de mezclas asfálticas no se encuentran especificados por el IDU. Sin embargo, para este tipo de mezclas asfálticas se espera que la deformación al millón de ciclos esté entre 80 µm/m y 90 µm/m (130 °C, 150 Hz). El resultado obtenido no es un valor típico (valor muy inferior al esperado), lo cual sugiere

problemas en el diseño de la mezcla asfáltica, o que el asfalto con el que se elaboró no cumplió con los requisitos de calidad exigidos. Este parámetro no se consideró en la actualización de las especificaciones porque los criterios de resistencia a la fatiga que deba cumplir el material dependen del valor indicado para la capa en el diseño estructural del pavimento.

- Resistencia bajo carga repetida (ahuellamiento) (**UNE-EN 12697-2000).**

Tabla 439 Resultados obtenidos del ensayo EN 12698-2000 para el material Mezclas asfálticas con GCR (vía humeda)

Material	Muestra	Proyecto/ Proveedor	UNE EN-12697-2000 Ensayo de resistencia a la deformación permanente- εN (%)			
			Resultados Obtenidos	Valor min	Valor Max	Según Especificación 625-18
MA-GCR	P034-1	HUMBERTO QUINTERO	0,6448	0,05	0,6	No cumple
			0,5711	0,05	0,6	Cumple

Los resultados de la norma de ensayo no se encuentran especificados por el IDU; sin embargo, la especificación 625-18 contempla lo siguiente “Se podrán emplear otros métodos de pista de ensayo de laboratorio contemplados en la norma EN-12697-22, caso en el cual los criterios de aceptación deberán definirse con base en especificaciones internacionales de comprobada efectividad”. El ensayo que se adelantó en la Pontificia Universidad Javeriana corresponde al Método A de la norma UNE EN-12697-25:2000, el cual es un ensayo de compresión uniaxial, donde una probeta cilíndrica de 150 mm de diámetro acondicionada a 40 °C, se somete a pulsos de carga axial de 100 kPa a una frecuencia de 0.5 Hz; de este ensayo se determina la deformación unitaria axial acumulada a 3600 ciclos. En la literatura revisada, se encontró que este parámetro debe encontrarse entre 0.05% y 0.6%.

Uno de los resultados cumplió con este requisito de deformación permanente o ahuellamiento, y el otro estuvo ligeramente por encima del límite superior.

H.3.5.27 CONCRETO HIDRÁULICO

Fueron realizadas pruebas sobre tres (3) tipos de concreto, un MR de 4,2 MPa que corresponde a la resistencia a flexión solicitada a un concreto para pavimentos en las clases de tránsito T1 o T2 según la Especificación 800-18, un MR de 4,8 MPa que corresponde a la resistencia a flexión solicitada para la clase de tránsito T3 (Especificación 800-18) y un FAST TRACK, materiales a los que se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Resistencia a Flexión (INV E 414-13)
- Resistencia a la compresión (NTC 673-2010)
- Módulo de elasticidad estático (NTC 4025-2010)
- Coeficiente de Poisson (NTC 4025-2010)
- Coeficiente de permeabilidad (NTC 4483-98)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos y su análisis:

H.3.5.27.1 Concreto - referencias MR 4.2 y MR 4.8

Tanto para el concreto con MR de 4,2 MPa, como para el de MR de 4,8 MPa se han evaluado propiedades mecánicas como resistencia a compresión y a flexión a 3, 7, 14 y 28 días, Módulo de elasticidad y coeficiente de poisson a 28 días y adicionalmente se determinó el coeficiente de permeabilidad como parámetro de durabilidad. En las tablas a continuación se presentan los resultados de resistencia a compresión, flexión, módulo de elasticidad y coeficiente de poisson.

- Resistencia a la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre **(INV E-414-13)**

Tabla 440. Resultados obtenidos del ensayo INV E 414-13 para el material Concreto hidráulico con MR 4,2 y 4,8 MPa

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/ Proveedor	INV E 414-13 Modulo de rotura (Mpa)									
				Resultados Obtenidos	T0-T1		Según Especificación	T2-T3		Según Especificación	T4-T5		Según Especificación
					Valor mín	Valor máx		Valor mín	Valor máx		Valor mín	Valor máx	
Viga Concreto 15*15*60 cm; Mezcla concreto para un MR 4.8 MPa	P032-1_1	3	Holcim	7,0	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P032-1_2	3		7,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P032-1_3	7		7,0	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P032-1_4	7		8,0	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P032-1_5	15		8,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P032-1_6	15		9,0	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P032-1_7	15		8,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P032-1_8	28		8,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P032-1_9	28		9,0	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P032-1_10	28		10,0	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
Viga Concreto 15*15*60 cm' Mezcla concreto para un	P014-1_1	3	Holcim	5,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P014-1_2	3		5,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P014-1_3	7		5,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P014-1_4	7		6,0	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/ Proveedor	INV E 414-13 Modulo de rotura (Mpa)									
				Resultados Obtenidos	T0-T1		Según Especificación	T2-T3		Según Especificación	T4-T5		Según Especificación
					Valor mín	Valor máx		Valor mín	Valor máx		Valor mín	Valor máx	
MR 4.2 MPa	P014-1_5	7		6	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P014-1_6	14		7	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P014-1_7	14		7	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P014-1_8	14		6,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P014-1_9	14		7	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P014-1_10	14		7	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P014-1_11	28		7	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P014-1_12	28		7	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P014-1_13	28		7	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P014-1_14	28		7,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P014-1_15	28		7,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple

- Resistencia a la compresión de cilindros de concreto (moldeados o núcleos) **(INV E-410-13/NTC 673-10)**

Tabla 441. Resultados obtenidos del ensayo NTC 673-10 para el material Concreto hidráulico con MR 4,2 y 4,8 MPa

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/Proveedor	NTC 673-2010 Resistencia a la compresión (Mpa) Mr=k√(f'c)				
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Según Especificación ACI-Correlación con MR obtenidos en laboratorio	Valor mín	Según Especificación ACI-Correlación con MR según especificación 800-18
Cilindros Holcim 20*10 cm Mezcla concreto para un MR 4.8 Mpa	P032-2_1	3	Holcim	55,9	70,73	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_2	3		53,5	70,73	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_3	3		50,3	70,73	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_4	3		52,5	70,73	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_5	3		49,7	70,73	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_6	7		64,4	75,69	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_7	7		68,5	75,69	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_8	7		65,4	75,69	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_9	7		66,3	75,69	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_10	7		62,5	75,69	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_11	15		70,8	103,03	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_12	15		67,2	103,03	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_13	15		75,9	103,03	No cumple	31,0	Cumple

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/Proveedor	NTC 673-2010 Resistencia a la compresión (Mpa) Mr=k√(f'c)				
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Según Especificación ACI-Correlación con MR obtenidos en laboratorio	Valor mín	Según Especificación ACI-Correlación con MR según especificación 800-18
	P032-2_14	15		74,1	103,03	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_15	15		76,3	103,03	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_16	28		76,8	121,45	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_17	28		81,7	121,45	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_18	28		82,1	121,45	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_19	28		76,2	121,45	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_20	28		77,5	121,45	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_21	28		--	121,45		31,0	
	P032-2_22	28		72,9	121,45	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_23	28		73,8	121,45	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_24	28		73	121,45	No cumple	31,0	Cumple
	P032-2_25	28		72,7	121,45	No cumple	31,0	Cumple
Cilindros Holcim 20*10 cm Mezcla concreto para un	P014-2_1	3	Holcim	39,9	40,7	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_2	3		40,5	40,7	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_3	3		38,9	40,7	No cumple	23,74	Cumple

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/Proveedor	NTC 673-2010 Resistencia a la compresión (Mpa) Mr=k√(f'c)				
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Según Especificación ACI-Correlación con MR obtenidos en laboratorio	Valor mín	Según Especificación ACI-Correlación con MR según especificación 800-18
MR 4.2 Mpa	P014-2_4	3		38,7	40,7	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_5	3		37,5	40,7	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_6	7		51,2	45,8	Cumple	23,74	Cumple
	P014-2_7	7		50,6	45,8	Cumple	23,74	Cumple
	P014-2_8	7		49,8	45,8	Cumple	23,74	Cumple
	P014-2_9	7		48,3	45,8	Cumple	23,74	Cumple
	P014-2_10	7		49,8	45,8	Cumple	23,74	Cumple
	P014-2_11	14		51,6	64,1	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_12	14		54	64,1	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_13	14		54,5	64,1	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_14	14		52,5	64,1	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_15	14		55,8	64,1	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_16	28		60,4	69,8	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_17	28		59,7	69,8	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_18	28		62,4	69,8	No cumple	23,74	Cumple

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/Proveedor	NTC 673-2010 Resistencia a la compresión (Mpa) Mr=k√(f'c)				
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Según Especificación ACI-Correlación con MR obtenidos en laboratorio	Valor mín	Según Especificación ACI-Correlación con MR según especificación 800-18
	P014-2_19	28		59,3	69,8	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_20	28		61,4	69,8	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_21	28		62,4	69,8	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_22	28		63,4	69,8	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_23	28		58,7	69,8	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_24	28		60,3	69,8	No cumple	23,74	Cumple
	P014-2_25	28		65,8	69,8	No cumple	23,74	Cumple

En la Tabla 441 se puede observar que al usar la correlación de la ACI, con los valores de módulo de rotura obtenidos en el laboratorio, se observa que varias muestras no cumplen. Pero al realizar la fórmula con los valores de los módulos de rotura de cada concreto (4,2 y 4,8 MPa), se observa que desde las primeras edades los concretos cumplen con lo especificado, teniendo en cuenta que este módulo se debe cumplir a los 28 días.

Para el analizar de los resultados obtenidos, se presentan a continuación en la Tabla 442 los valores promedio, desviaciones y coeficientes de variación, para la resistencia a compresión y a flexión del concreto a las edades de 3, 7, 14 y 28 días, en donde se observa que en todos los casos fue superada la solicitud de resistencia a flexión a partir de los 3 días, encontrándose todos los concretos por encima de las solicitudes para la categoría de tránsito T3 (4,8 MPa). Lo cual quiere decir, que fácilmente los concretos obtienen las solicitaciones de resistencia establecidas en la Especificación 800-18. Respecto a los coeficientes de variación obtenidos, se puede decir que presentaron menores coeficientes de variación los concretos con referencia MR de 4,2 MPa, sin embargo, sobre este coeficiente interviene no solo la calidad del concreto.

Tabla 442. Promedio de los resultados de Resistencia a compresión y flexión para MR 4,2 y 4,8 MPa

Tipo de Concreto	Edad (días)	Resistencia a Compresión (MPa)			Resistencia a Flexión Módulo de Rotura (MPa)		
		Promedio	Desv. Estandar	C V (%)	Promedio	Desv. Estandar	C V (%)
MR 4.2 MPa	3	39,1	1,2	3,0%	5,5	0,0	0,0%
	7	49,9	1,1	2,2%	5,8	0,3	4,9%
	14	53,7	1,7	3,1%	6,9	0,2	3,2%
	28	61,4	2,2	3,5%	7,2	0,3	3,8%
MR 4.8 MPa	3	52,4	2,5	4,8%	7,3	0,4	4,9%
	7	65,4	2,2	3,4%	7,5	0,7	9,4%
	14	72,9	3,8	5,3%	8,7	0,3	3,3%
	28	76,3	3,6	4,8%	9,2	0,8	8,3%

Se han encontrado correlaciones para la resistencia a flexión respecto a la resistencia a compresión entre 11,7% y 14,1% para el concreto con MR de 4,2 MPa según la edad de ensayo, y correlaciones entre 11,5% y 13,8% para el concreto con MR de 4,8 MPa según la edad de ensayo, valores que coinciden con los rangos reportados en la bibliografía al respecto (entre 10% y 20%). En la Ilustración 82 se presentan los resultados de resistencia a compresión y flexión para los concretos con MR de 4,2 MPa y 4,8 MPa, encontrando que a pesar de los buenos resultados de resistencia para los concretos, al revisar el ajuste de los puntos a una línea recta, los datos no presentaron una correlación como la establecida en la especificación ($r^2 \geq 0,90$), lo cual puede ser debido a que los coeficientes de variación superaron en algunos casos el 5%, especialmente en los valores de resistencia a compresión.

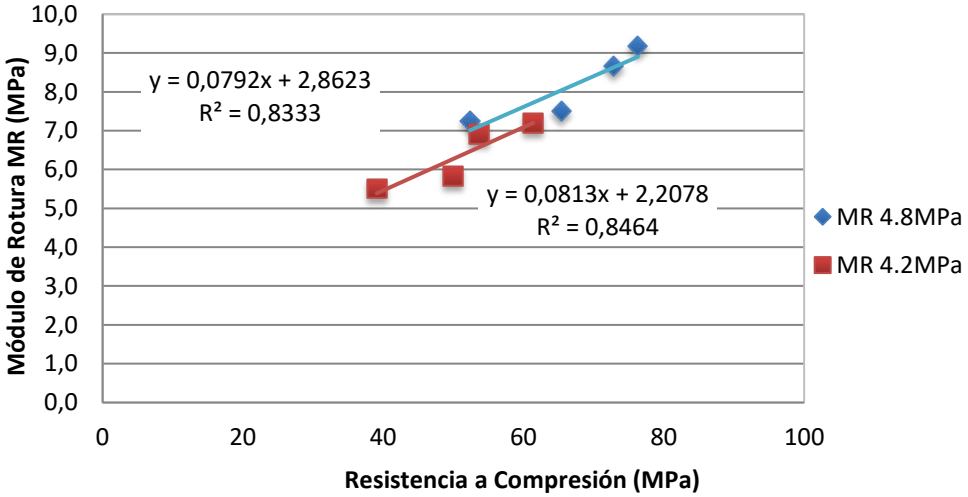


Ilustración 82. Correlación entre resultados promedio de resistencia a flexión y compresión para MR 4,2 y 4,8 MPa.

En las ilustraciones a continuación, se presenta la evolución de la resistencia a compresión (Ilustración 83) y a flexión (Ilustración 84) para los concretos ensayados.

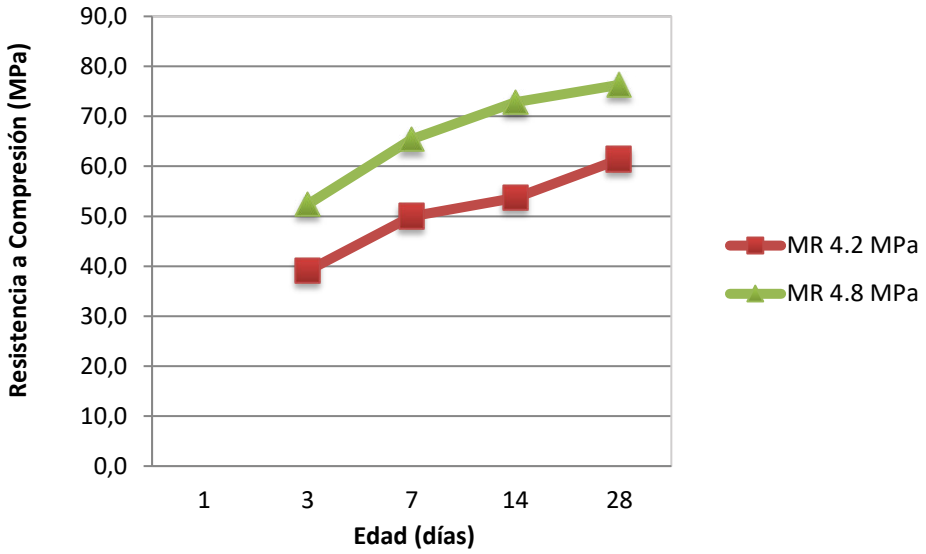


Ilustración 83. Evolución de la resistencia a compresión de los concretos con MR de 4,2 Mpa y 4,8 MPa en el tiempo.

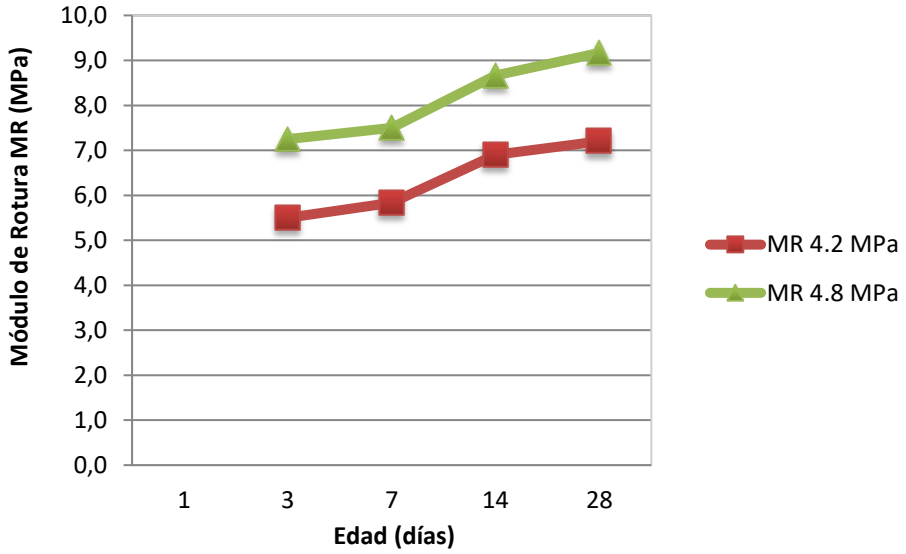


Ilustración 84. Evolución de la resistencia a flexión de los concretos MR de 4,2 Mpa y 4,8 MPa en el tiempo.

- Módulo de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto en compresión (**NTC 4025-2010/INV E 424-13).**

Adicionalmente, se evaluó el Módulo de elasticidad estático a veintiocho (28) días según la NTC 4025-2010, encontrándose para la referenica MR de 4,2 MPa, un valor promedio de 32545,4 MPa, que se encuentra en los valores esperados si se revisan ecuaciones propuestas desde la literatura (**Ec=** $\mathbf{3900\sqrt{f'c}}$
Ecuación 1). Para este caso en particular, se evaluó el resultado de laboratorio con la ecuación propuesta en la NSR-10 para el cálculo del módulo a partir de los resultados de resistencia a compresión a la misma edad, para concretos de peso normal. La desviación de los resultados fue de 1643,3 MPa, con un coeficiente de variación de 5,0%. Por otro lado, el coeficiente de poisson a los 28 días fue en promedio de 0,16, con desviación de 0,02 el valor promedio se encuentra fuera de los valores reportados en la bibliografía (NSR-10 Título C pág 113). Sin embago, dentro de los 5 ensayos realizados, el 20% tiene un valor de 0,18 que puede ser considerado normal para el concreto.

$$\mathbf{Ec = 3900\sqrt{f'c}}$$

Ecuación 1.

Tabla 443. Resultados obtenidos del ensayo INV E 424-13 para el material Concreto hidráulico con MR 4,2 y 4,8 MPa

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/ Proveedor	NTC 4025-2010 Módulo de elasticidad estático promedio (Mpa)			
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Valor máx	Según NSR 10 C.8
Cilindros Holcim 20*10 cm Mezcla concreto para un MR 4.2 Mpa	P032-2_21	28	Holcim	--	--	--	Cumple
	P032-2_22	28		27019	29968,9	36628,7	No cumple
	P032-2_23	28		30307	30153,3	36854,1	Cumple
	P032-2_24	28		30506	29989,5	36653,8	Cumple
	P032-2_25	28		30198	29927,8	36578,4	Cumple
Cilindros Holcim 20*10 cm Mezcla concreto para un MR 4.2 Mpa	P014-2_21	28	Holcim	32428	27726,8	33888,3	Cumple
	P014-2_22	28		32745	27948,1	34158,7	Cumple
	P014-2_23	28		29892	26892,2	32868,2	Cumple

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/ Proveedor	NTC 4025-2010 Módulo de elasticidad estático promedio (Mpa)			
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Valor máx	Según NSR 10 C.8
	P014-2_24	28		34279	27256,2	33313,2	No cumple
	P014-2_25	28		33383	28472,1	34799,3	Cumple

Tabla 444. Resultados obtenidos del ensayo NTC 4025-2010 para el material Concreto hidráulico con MR 4,2 y 4,8 MPa

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/ Proveedor	NTC 4025-2010 Coeficiente de Poisson			
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Valor máx	Según NSR 10 C.8
Cilindros Holcim 20*10 cm Mezcla concreto para un MR 4.2 Mpa	P032-2_21	28	Holcim	--	--	--	Cumple
	P032-2_22	28		0,18	0,18	0,23	Cumple
	P032-2_23	28		0,21	0,18	0,23	Cumple
	P032-2_24	28		0,2	0,18	0,23	Cumple
	P032-2_25	28		0,21	0,18	0,23	Cumple
Cilindros Holcim 20*10 cm Mezcla concreto para un MR 4.2 Mpa	P014-2_21	28	Holcim	0,14	0,18	0,23	No cumple
	P014-2_22	28		0,17	0,18	0,23	No cumple
	P014-2_23	28		0,17	0,18	0,23	No cumple
	P014-2_24	28		0,18	0,18	0,23	Cumple
	P014-2_25	28		0,16	0,18	0,23	No cumple

Por otro lado, para la referencia MR de 4,8 MPa, el Módulo de elasticidad estático a veintiocho (28) días según la NTC 4025-2010, arrojó un valor promedio de 29507,5 MPa, que también se encuentra en los valores esperados evaluando el resultado de laboratorio con la ecuación propuesta en la NSR-10, para el cálculo del módulo a partir de los resultados de resistencia a compresión a la misma edad, para concretos de peso normal.

La desviación de los resultados en este caso fue de 1663,9MPa, con un coeficiente de variación de 5,6%. El coeficiente de poisson a los 28 días fue en promedio de 0,20 con desviación de 0,01, según lo encontrado en los valores reportados para concreto en la bibliografía.

- Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua **(NTC 4483)**

Como un parámetro de durabilidad, se evaluó la permeabilidad del concreto al agua, y determinando el coeficiente de permeabilidad se puede decir que los concretos ensayados presentan un muy buen comportamiento, con valores de $4{,}28 \times 10^{-14}$ m/s (a 35 días) y $2{,}56 \times 10^{-14}$ m/s (a 14 días) para concretos de MR 4,2 MPa y 4,8 MPa respectivamente. Lo anterior, de acuerdo a lo establecido en la NTC 4483 sobre la relación de permeabilidad del concreto con el coeficiente de permeabilidad, en donde valores < 10^{-12} m/s representan baja permeabilidad.

Tabla 445. Resultados obtenidos del ensayo NTC 4483-98 para el material Concreto hidráulico con MR 4,2 y 4,8 MPa

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/ Proveedor	NTC 4483-98 Coeficiente de permeabilidad (m/s)			
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Valor máx	Según NTC 4483
Cilindros Holcim 20*10 cm Mezcla concreto para un MR 4.2 Mpa	P014-2_1	3	MR Holcim	4,28E-14	-	10^{-12}	Cumple
Cilindro Holcim; Mezcla concreto para un MR 4.8 Mpa	P032-2	3	MR Holcim	2,56E-14		10^{-12}	Cumple

Frente a durabilidad, se puede decir que los concretos ensayados presentan un muy buen comportamiento, con valores de $4{,}28 \times 10^{-14}$ y $2{,}56 \times 10^{-14}$ para concretos de MR 4,2 MPa y 4,8 MPa respectivamente, lo que significa que presentan una baja permeabilidad a 3 días. Lo anterior, de acuerdo a lo establecido en la NTC 4483 sobre la relación de permeabilidad del concreto con el coeficiente de permeabilidad, en donde valores < 10^{-12} m/s representan baja permeabilidad

H.3.5.27.2 Concreto - referencia Fast Track

Para el concreto tipo FAST TRACK, se han evaluado propiedades mecánicas como resistencia a compresión y a flexión a edades de 1, 3 y 7 días, y se determinó el Modulo de elasticidad y el coeficiente de poisson a 7 días. En las tablas a continuación se presentan los resultados de resistencia a compresión, flexión, módulo de elasticidad y coeficiente de poisson.

- Resistencia a la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre **(INV E-414-13)**

Tabla 446. Resultados obtenidos del ensayo INV E 414-13 para el material Concreto hidráulico tipo FAST TRACK

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/ Proveedor	INV E 414-13 Modulo de rotura (Mpa)									
				Resultados Obtenidos	T0-T1		Según Especificación	T2-T3		Según Especificación	T4-T5		Según Especificación
					Valor mín	Valor máx		Valor mín	Valor máx		Valor mín	Valor máx	
Viga de concreto tipo FAST TRACK	P155-2_1	1		6	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P155-2_2	1		6	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P155-2_3	1		5,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P155-2_4	1		5,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P155-2_5	1		5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P155-2_6	3		9,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P155-2_7	3		9,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P155-2_8	7		10,5	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P155-2_9	7		11	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple
	P155-2_10	7		10	4	-	Cumple	4,2	-	Cumple	4,5	-	Cumple

- Resistencia a la compresión de cilindros de concreto (moldeados o núcleos) **(INV E-410-13/NTC 673-10)**

Tabla 447. Resultados obtenidos del ensayo NTC 673-10 para el material Concreto hidráulico tipo FAST TRACK

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/Proveedor	NTC 673-2010 Resistencia a la compresión (Mpa) Mr=k√(f'c)				
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Según Especificación ACI-Correlación con MR obtenidos en laboratorio	Valor mín	Según Especificación ACI-Correlación con MR según especificación 800-18
Cilindros de concreto-Tipo FAST TRACK 671-1	P155-1_1	1	Holcim Colombia	50,7	42,2	Cumple	27,25	Cumple
	P155-1_2	1		49,5	42,2	Cumple	27,25	Cumple
	P155-1_3	1		51,4	42,2	Cumple	27,25	Cumple
	P155-1_4	1		51,2	42,2	Cumple	27,25	Cumple
	P155-1_5	1		49,5	42,2	Cumple	27,25	Cumple
	P155-1_6	3		90,9	121,4	No cumple	27,25	Cumple
	P155-1_7	3		89,3	121,4	No cumple	27,25	Cumple
	P155-1_8	3		88,7	121,4	No cumple	27,25	Cumple
	P155-1_9	3		90,4	121,4	No cumple	27,25	Cumple
	P155-1_10	3		71,6	121,4	No cumple	27,25	Cumple
	P155-1_11	7		105,3	148,36	No cumple	27,25	Cumple
	P155-1_12	7		101,6	148,36	No cumple	27,25	Cumple
	P155-1_13	7		99	148,36	No cumple	27,25	Cumple
	P155-1_14	7		101,4	148,36	No cumple	27,25	Cumple

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/Proveedor	NTC 673-2010 Resistencia a la compresión (Mpa) Mr=k√(f'c)				
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Según Especificación ACI-Correlación con MR obtenidos en laboratorio	Valor mín	Según Especificación ACI-Correlación con MR según especificación 800-18
	P155-1_15	7		106,8	148,36	No cumple	27,25	Cumple
	P155-1_16	7		107,7	148,36	No cumple	27,25	Cumple
	P155-1_17	7		99,2	148,36	No cumple	27,25	Cumple
	P155-1_18	7		103,8	148,36	No cumple	27,25	Cumple
	P155-1_19	7		105,2	148,36	No cumple	27,25	Cumple
	P155-1_20	7		93,3	148,36	No cumple	27,25	Cumple

De la misma forma que para los concretos convencionales, en la Tabla 447 se puede observar que al usar la correlación de la ACI, con los valores de módulo de rotura obtenidos en el laboratorio, varias muestras no cumplen. Pero al realizar la fórmula con el valor crítico que se encuentra en la especificación 800-18, se observa que para todas las edades las muestras cumplen con lo especificado.

Al analizar los resultados obtenidos, en la Tabla 448 se presentan los valores promedio, desviaciones y coeficientes de variación para la resistencia a compresión y a flexión del concreto a las edades de 1, 3 y 7 días, en donde se observa que en todos los casos se han superado 5,0 MPa de resistencia a flexión incluso a 1 día. Los coeficientes de variación no tienen una tendencia clara, probablemente producto de las variables del propio concreto, además de la toma, preparación y ensayo de los especímenes.

Tabla 448. Promedio de los resultados de Resistencia a compresión y flexión concreto Fast track

Edad (días)	Resistencia a Compresión (MPa)			Resistencia a Flexión Módulo de Rotura (MPa)		
	Promedio	Desv. Estandar	C V (%)	Promedio	Desv. Estandar	C V (%)
1	50,5	0,9	1,8%	5,6	0,4	7,5%
3	86,2	8,2	9,5%	9,5	0,0	0,0%
7	102,3	4,4	4,3%	10,5	0,5	4,8%

Adicionalmete, se encontraron correlaciones para la resistencia a flexión respecto a la resistencia a compresión entre 10% y 11% según la edad de ensayo, como se reporta en literatura. En la **Ilustración 85**, se presentan los resultados de resistencia a compresión y flexión para fast track, encontrando una correlación confiable de los resultados para este concreto, como la establecida en la especificación ($r^2 \geq 0{,}90$).

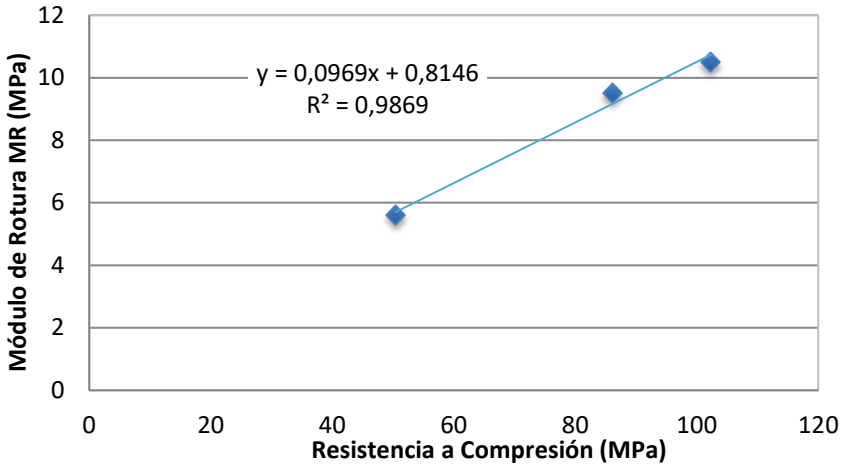


Ilustración 85. Correlación entre resultados promedio de resistencia a flexión y compresión de concreto Fast Track.

En las ilustraciones a continuación, se presenta la evolución de la resistencia a compresión (Ilustración 86) y a flexión (Ilustración 87) para los concretos ensayados.

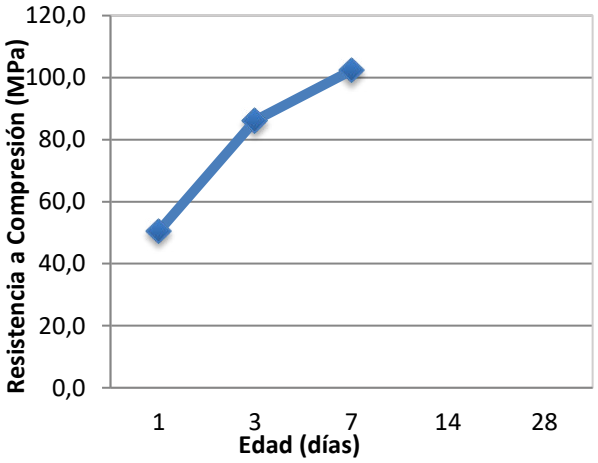


Ilustración 86. Evolución de la resistencia a compresión del concreto fast track en el tiempo.

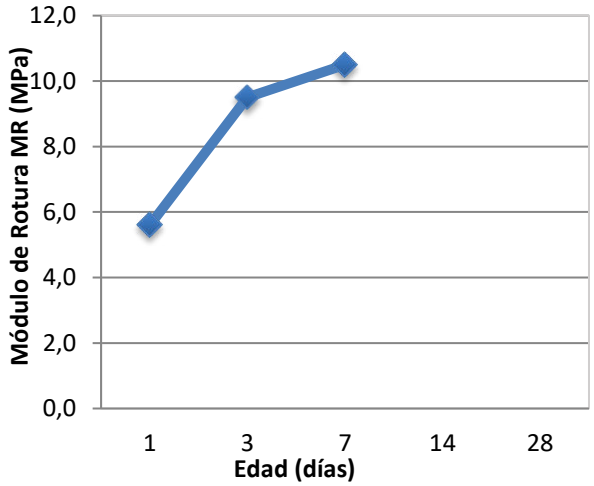


Ilustración 87. Evolución de la resistencia a flexión del concreto fast track en el tiempo.

- Módulo de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto en compresión (**NTC 4025-2010/INV E 424-13).**

Para fast track se evaluó el Módulo de elasticidad estático promedio a siete (7) días según la NTC 4025-2010, encontrándose un valor promedio de 3765,4 MPa, que se encuentra en los valores esperados si se revisan las ecuaciones propuestas desde la literatura, para este caso se evaluó en particular con la Ecuación propuesta en la NSR-10 ($\mathbf{Ec= 3900\sqrt{f'c}}$ **Ecuación 2**) para el cálculo del módulo a partir de los resultados de resistencia a compresión a la misma edad, para concretos de peso normal. La desviación de los resultados fue de 1514 MPa, con un coeficiente de variación de 4,0%. Por otro lado, el coeficiente de poisson a los 7 días fue de 0,22 considerado normal para el concreto según el Título C de la NSR-10, con desviación de 0,01 y coeficiente de variación de 4,5%.

$$\mathbf{Ec = 3900\sqrt{f'c}}$$

Ecuación 2.

Tabla 449. Resultados obtenidos del ensayo INV E 424-13 para el material Concreto hidráulico tipo FAST TRACK

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/ Proveedor	NTC 4025-2010 Módulo de elasticidad estático promedio (Mpa)			
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Valor máx	Según NSR 10 C.8
Cilindros de concreto-Tipo	P155-1_15	7	Holcim Colombia	39174	36273,8	44334,6	Cumple

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/ Proveedor	NTC 4025-2010 Módulo de elasticidad estático promedio (Mpa)			
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Valor máx	Según NSR 10 C.8
FAST TRACK 671-1	P155-1_16	7		36778	36426,3	44521,0	Cumple
	P155-1_17	7		38723	34959,3	42728,1	Cumple
	P155-1_18	7		37730	35760,7	43707,5	Cumple
	P155-1_19	7		--	--	--	Cumple
	P155-1_20	7		35422	33903,8	41437,9	Cumple

Tabla 450. Resultados obtenidos del ensayo NTC 4025-2010 para el material Concreto hidráulico tipo FAST TRACK

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/ Proveedor	NTC 4025-2010 Coeficiente de Poisson			
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Valor máx	Según NSR 10 C.8
Cilindros de concreto-Tipo FAST TRACK 671-1	P155-1_15	7	Holcim Colombia	0,23	0,18	0,23	Cumple
	P155-1_16	7		0,22	0,18	0,23	Cumple
	P155-1_17	7		0,23	0,18	0,23	Cumple
	P155-1_18	7		0,21	0,18	0,23	Cumple
	P155-1_19	7		--	--	--	Cumple
	P155-1_20	7		0,21	0,18	0,23	Cumple

- Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua **(NTC 4483)**

En el ensayo de permeabilidad del concreto al agua, se puede decir que el concreto fast track ensayado a 59 días, presenta un valor de 0,00 m/s, lo que significa que es

practicamente impermeable para las condiciones de ensayo, lo que puede ser por la edad avanzada de ensayo en donde ya muchos enlaces químicos han tenido tiempo de desarrollarse y por la elevada resistencia, lo cual genera una matriz cerrada de muy alta durabilidad. Lo anterior, de acuerdo a lo establecido en la NTC 4483 sobre la relación de permeabilidad del concreto con el coeficiente de permeabilidad, en donde valores < 10^{-12} m/s representan baja permeabilidad.

Tabla 451. Resultados obtenidos del ensayo NTC 4483-98 para el material Concreto hidráulico tipo FAST TRACK

Material	Muestra	Edad del especímen	Proyecto/ Proveedor	NTC 4483-98 Coeficiente de permeabilidad (m/s)			
				Resultados Obtenidos	Valor mín	Valor máx	NTC 4483
Cilindros de concreto-Tipo FAST TRACK 671-1	P155-1_1	1	Holcim Colombia	0	-	10^{-12}	Cumple

H.3.5.28 PISOS EN ALUMINIO PARA TABLERO DE PUENTE PEATONAL

Se presentan a continuación los resultados de los diferentes ensayos de laboratorio realizados al material de aluminio para pisos de puente peatonal prototipo para Bogotá y que harán parte de la correspondiente especificación técnica elaborada en este proyecto.

- Fatiga para pisos aluminio (**Protocolo**):

  Se hizo un ensayo de fatiga basados en el protocolo elaborado y aprobado por el IDU. En la Ilustración 88, se puede observar que la deformación vertical producto de la carga de 400 kg, no tuvo una variación importante y correspondió a un promedio de 1.9 mm. Eso mismo pasó con las deformaciones verticales producidas por los demás niveles de carga, donde se simularon cinco años de servicio que correspondió a 5310 ciclos por día. Adicionalmente, durante el ensayo no se observó ningún daño en el aluminio ni sus conexiones, lo cual se puede comprobar en el informe de laboratorio en el cual se presenta un registro fotográfico detallado.

Ilustración 88. Deformaciones verticales para la carga de 400 kg durante 5 años de simulación

- Ensayo de punzonamiento sobre el entrepiso de aluminio (**Protocolo**):

  Se hizo un solo ensayo y los puntos críticos que se evaluaron fueron los siguientes según el protocolo

  - Donde se apoya el material (aluminio, concreto, etc) con la vigueta y esta a su vez con la viga trasversal.
  - Donde se apoya el material (aluminio, concreto, etc) con la vigueta, pero en ese punto está libre y no se apoya en la viga trasversal.
  - En la zona central del material, es decir donde el punto no se apoya con ninguna vigueta.

  El caso más crítico de los tres evaluados se presenta a continuación, donde se determinó que la carga máxima de punzonamiento que resiste el aluminio es de 6.01 kN:

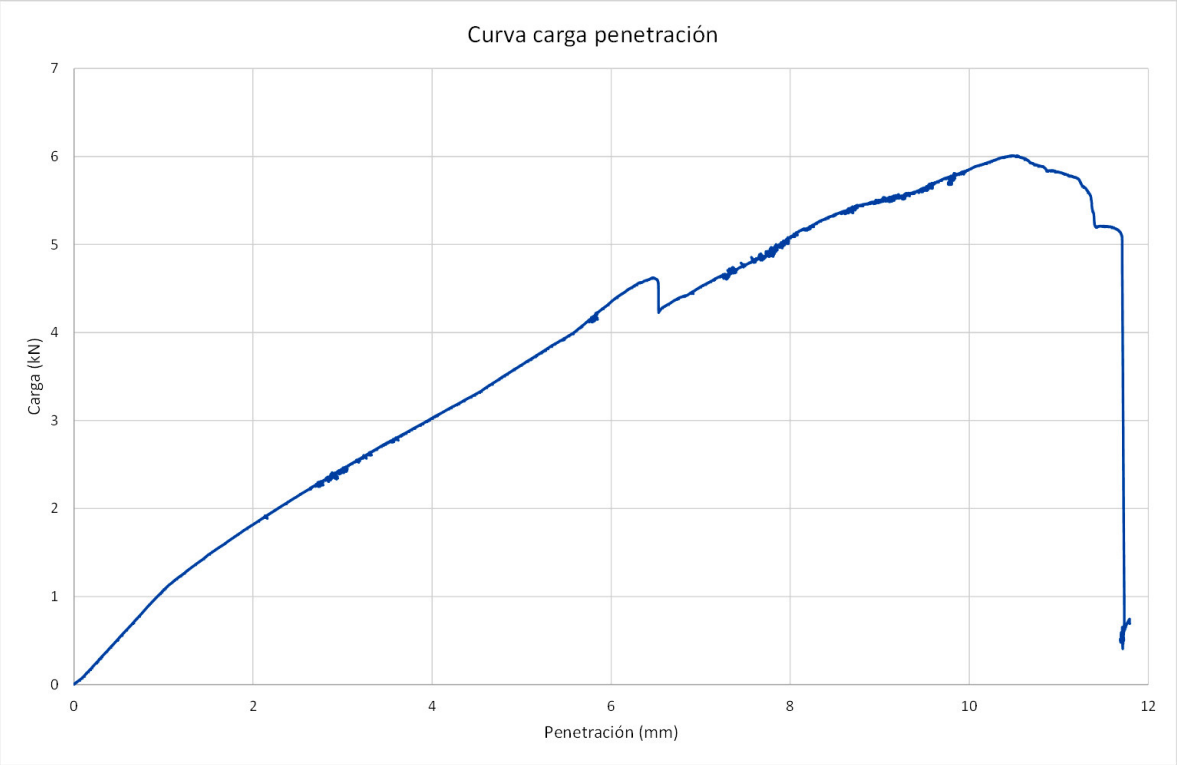


Ilustración 89. Resultado punzonamiento punto 2. Carga máxima 6.01 kN y penetración máxima 11.79 mm

- Desgaste para entrepisos de aluminio (**ASTM D 3389**):

  Fue un solo ensayo basado en la norma ASTM D3389 – 16 “Standard Test Method for oated Fabrics Abrasion Resistance (Rotary Platform Abrader)” y fue realizado por parte de la empresa M&G laboratorio, cuyos resultados fueron los siguientes:

Tabla 452. Resultados de ensayo de desgaste de aluminio

		24,3090	23,2991	46,9	0,19
		Espesor Inicial (mm)	**Espesor Final (mm)**	**Perdida de Espesor (mm)**	**Perdida de Espesor (%)**
		14,39	13,82	0,57	3,96
17-3697-2	MATERIAL ALUMINIO P 134-2	**Pérdida de Peso por Revolución (mg/rev)**		**Pérdida de Espesor por Revolución (µm/rev)**	
		0,093		1,14	
		Observaciones			**Calificación Escala de Grises para Cambio de Color**
		Se somete la probeta a un ensayo de abrasión taber durante 500 ciclos. La probeta presentó cambio de masa, color y espesor.			4-5

Se obtuvo un valor de 0.093 mg/rev que corresponde a la pérdida de peso por revolución.

- Resistencia a la flexión para material de pisos de aluminio (**ASTM E290**):

Se hizo un solo ensayos basado en la norma ASTM E290: "Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility" y fue realizado por parte de la empresa M&G laboratorio:

Tabla 453. Resultado de ensayo flexión aluminio

Código Interno Muestra	Producto	Resistencia a la Flexión				
		Longitud Total de la Probeta (mm)	Distancia Entre Puntos de Apoyo (mm)	Fuerza Máxima Aplicada (kgf)	Área Transversal de la probeta (mm^2)	Esfuerzo máximo (MPa)
17-3697-2	MATERIAL ALUMINIO P 134-2	900	700	483,69	4291	0,90
		Observaciones				
		Se realiza la prueba de flexión sobre la probeta, sujetándola en sus extremos y aplicando una fuerza ascendente en su punto medio hasta evidenciar perdida de la resistencia de la probeta cuando se aplica una fuerza de 483,69 kgf (4745 N). La probeta presentó deformación mientras se aumentaba la carga, al momento de llegar a la fuerza máxima de 483,69 N, la probeta presentó perdida a la resistencia en la zona media (punto de aplicación de la fuerza). No evidencia astillas, no evidencia fragmentación de trozos del material, la probeta presentó deformación plástica.				

Se obtuvo un esfuerzo máximo de 0.9 MPa.

- Resistencia a la flexión para material de pisos de aluminio (**ASTM E8/E8M**):

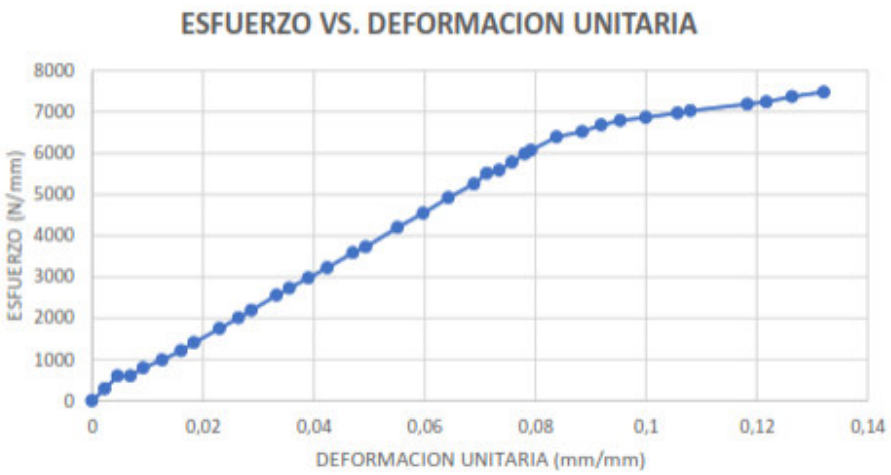
  Se hicieron tres ensayos basados en la norma ASTM E8/E8M "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials" y fue realizado por parte de la empresa M&G laboratorio.

Tabla 454. Resultado de ensayo tracción y módulo de elasticidad aluminio

Código Interno Muestra	Producto	Resistencia a la Tracción Probeta 1				
		Área Transversal de la Probeta (mm²)	Esfuerzo a la Tracción (MPa)	Tensión Máxima (N)	Elongación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
17-3697-2	MATERIAL ALUMINIO P 134-2	26,25	304,2	7986	3,98	76361
Código Interno Muestra	**Producto**	**Resistencia a la Tracción Probeta 2**				
		Área Transversal de la Probeta (mm²)	**Esfuerzo a la Tracción (MPa)**	**Tensión Máxima (N)**	**Elongación (%)**	**Módulo de Elasticidad (MPa)**
17-3697-2	MATERIAL ALUMINIO P 134-2	29,21	295,5	8632	5,37	55021
Código Interno Muestra	**Producto**	**Resistencia a la Tracción Probeta 3**				
		Área Transversal de la Probeta (mm²)	**Esfuerzo a la Tracción (MPa)**	**Tensión Máxima (N)**	**Elongación (%)**	**Módulo de Elasticidad (MPa)**
17-3697-2	MATERIAL ALUMINIO P 134-2	27,50	290,3	7983	5,77	50340,4
Código Interno Muestra	**Producto**	**Resistencia a la Tracción Promedio Probetas 1 a 3**				
		Área Transversal de la Probeta (mm²)	**Esfuerzo a la Tracción (MPa)**	**Tensión Máxima (N)**	**Elongación (%)**	**Módulo de Elasticidad (MPa)**
17-3697-2	MATERIAL ALUMINIO P 134-2	27,65	296,5	8200,3	5,04	58824,3

NOTA: La probeta es tomada de la parte lisa de la muestra, la muestra evaluada corresponde a la composición del aluminio indicada en el presente informe (ver anexos).

Se obtuvo un promedio de esfuerzo de tracción 296.6 MPa (43 KSI) y de módulo de elasticidad de 60137 MPa.



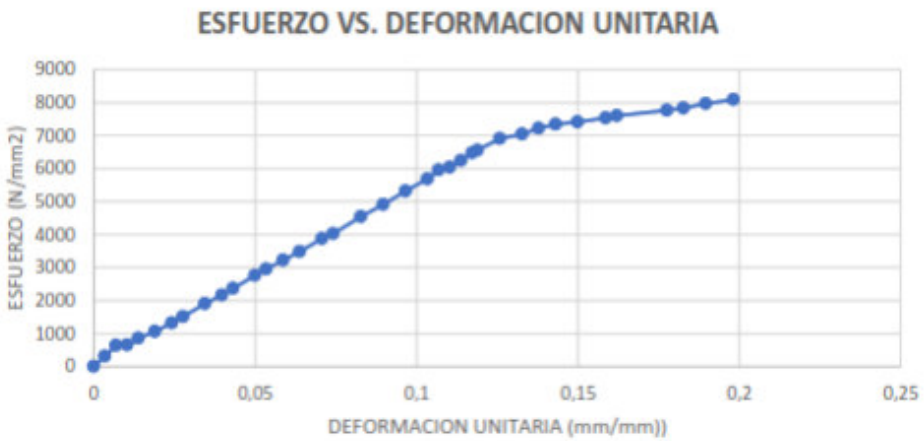


Ilustración 90. Gráficos esfuerzo –deformación para determinar el módulo de elasticidad aluminio

Para tener un punto de referencia de la anterior información, se presentan a continuación los resultados del ensayo a tracción de aluminio que obtuvo la Universidad de los Andes en el contrato que desarrolló con el IDU en el 2005 (Aunque probó una aleación de aluminio diferente a la que se ensayó en esta oportunidad):

Tabla 455. Resultado de ensayo tracción y módulo de elasticidad aluminio – Universidad de los Andes

Aleación	Probeta	Esfuerzo de Fluencia [Kg/mm²]	Esfuerzo Maximo [Kg/mm²]	Alargamiento medido [%]	Módulo de Elasticidad [Kg/cm²]
6261 T6	P1	28.3	30.8	7.2	705884
6261 T6	P2	28.0	31.4	9.6	717258
6261 T6	P3	28.0	31.2	7.4	719261
6261 T6	P4	26.9	30.9	8.3	690207
6261 T6	P5	27.8	31.1	6.5	693590
6063 T5	P6	17.6	20.9	5.9	699420
6063 T5	P7	20.6	23.4	4.9	660257
6063 T5	P8	20.5	24.3	5.7	699075
6063 T5	P9	21.4	24.8	4.8	707248
6063 T5	P10	15.3	18.8	6.7	693513

La Universidad de los Andes obtuvo para este material un esfuerzo promedio a tracción de 267.6 MPa y un módulo de elasticidad promedio de 69807 Mpa, los cuales son similares a los obtenidos por parte de la Universidad Javeriana.

Se presentan las ventajas y desventajas basados en los resultados de los ensayos de laboratorio obtenidos del aluminio comparado con los otros dos materiales (concreto y material sintético) investigados en el presente proyecto:

- Tiene menor peso con respecto al concreto y material sintético, lo cual representa menos fuerza sísmica, y por lo tanto menores dimensiones en la estructura metálica y la correspondiente cimentación.
- Tiene especificaciones para el diseño y la construcción establecidas por la NSR-10 y CCP-14.
- No tuvo ningún daño en la simulación de 5 años de fatiga y una deformación promedio del orden de 1.9 mm, menor que la de material sintético y mayor que la del concreto.
- Para punzonamiento soporta 6.01 kN que corresponde a la tercera parte de lo que soporta el concreto y muy similar a lo que soporta el material sintético.

- Tiene un nivel de desgaste similar al del concreto pero mayor que el material sintético.
- Tiene una resistencia a la tensión y módulo de elasticidad adecuado para las etapas de diseño/construcción.
- Es el material más utilizado en los puentes peatonales existentes y se han trabajado con varios tipos de aleación.
- Tiene problemas de ruido y de seguridad.

H.3.5.29 PISOS EN MATERIAL SINTÉTICO PARA TABLERO DE PUENTE PEATONAL

Se presentan a continuación los resultados de los diferentes ensayos de laboratorio realizados al material sintético para pisos de puente peatonal prototipo para Bogotá y que harán parte de la correspondiente especificación técnica elaborada en este proyecto.

- Fatiga para pisos sintéticos (**Protocolo**):

  Se hizo un ensayo de fatiga basados en el protocolo elaborado y aprobado por el IDU. En la **Ilustración 91**, se puede observar que la deformación vertical promedio producto de la carga de 400 kg, correspondió a 5.79 mm y que se presentó en dicha deformación una variación mayor comparada con los resultados de este mismo ensayo para el aluminio y el concreto. Eso mismo pasó con las deformaciones verticales producidas por los demás niveles de carga, donde se simularon cinco años de servicio que correspondió a 5310 ciclos por día. Adicionalmente, durante el ensayo no se observó ningún daño en el material sintético ni sus conexiones, lo cual se puede comprobar en el informe de laboratorio en el cual se presenta un registro fotográfico detallado.

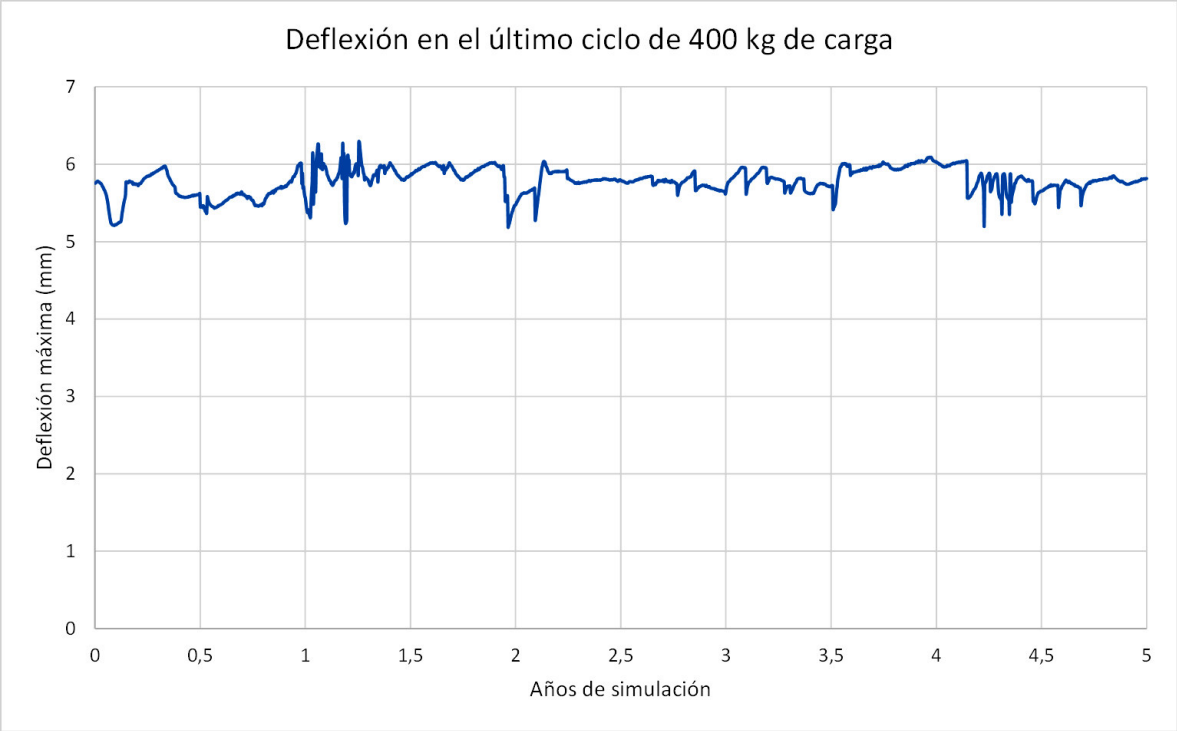


Ilustración 91. Deformaciones verticales para la carga de 400 kg durante 5 años de simulación

- Ensayo de punzonamiento sobre perfil sintético (**Protocolo**):

  Aplicando el mismo procedimiento explicado anteriormente para el ensayo de punzonamiento del aluminio, donde solamente se hizo un solo ensayo, se obtuvo una carga máxima de 7.38 kN, según los tres (3) puntos evaluados.

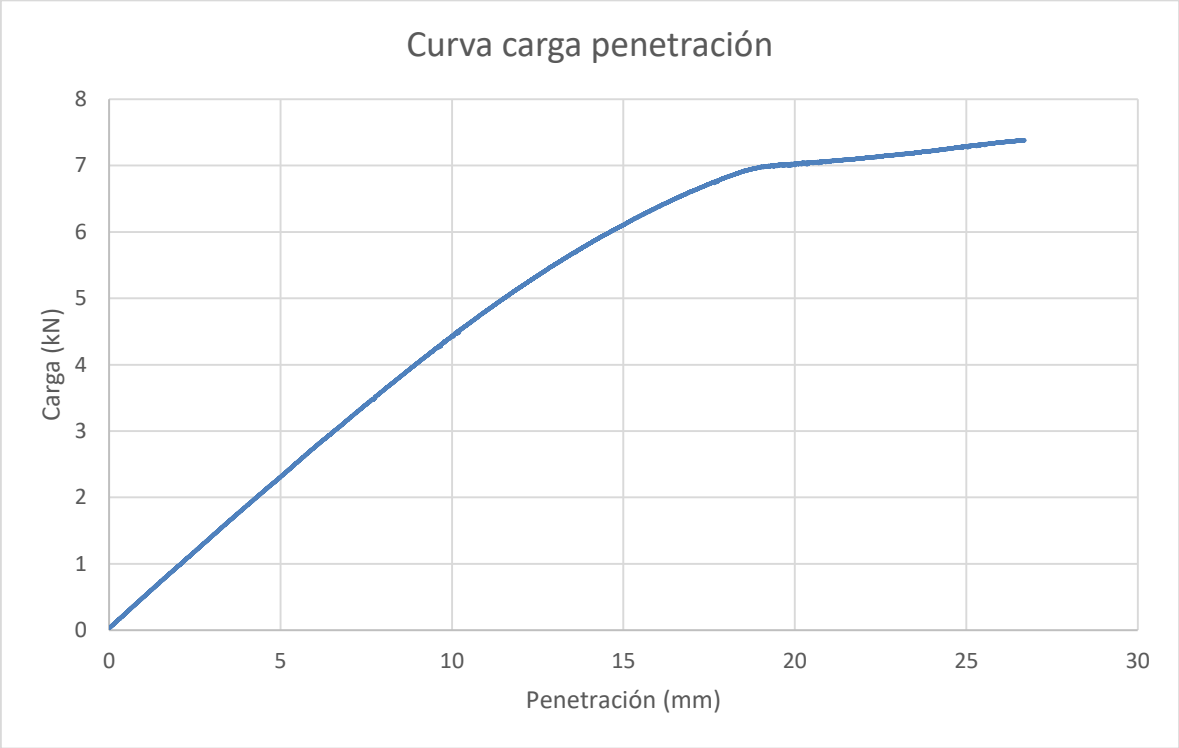


Ilustración 92. Resultado punzonamiento. Carga máxima 7.38 kN

- Desgaste para entrepisos sintéticos (**ASTM D 3389**):

  Fue un solo ensayo basado en la norma ASTM D3389 – 16 “Standard Test Method for Coated Fabrics Abrasion Resistance (Rotary Platform Abrader)” y lo realizó la empresa M&G laboratorio, cuyos resultados se presentan a continuación:

Tabla 456. Resultado de ensayo de desgaste material sintético

Código Interno Muestra	Producto	Desgaste para Entrepiso Sintético (500 Ciclos)					
		Masa Inicial (g)		Masa Final (g)		Pérdida de Masa (mg)	Pérdida de masa (%)
17-3697-1	MATERIAL SINTETICO P 089-17	84,3211		84,1139		20,7	0,24
		Espesor de capa inicial (mm)		Espesor de capa Final (mm)		Perdida de Espesor (mm)	Perdida de Espesor (%)
		11,17		10,92		0,25	6,6
		Pérdida de Peso por Revolución (mg/rev)				Pérdida de Espesor por Revolución (µm/rev)	
		0,0414				0,5	
		Brillo Inicial (GU)		Brillo Final (GU)		Cambio de Brillo (GU)	
		20°	0,2	20°	0,1	20°	0,1
		60°	1,5	60°	1,2	60°	0,3
		85°	3,3	85°	1,3	85°	2,0
		Observaciones					Calificación Escala de Grises para Cambio de Color
		Se somete la probeta a un ensayo de abrasión taber durante 500 ciclos, usando una piedra abrasiva de referencia H-18 y una carga de 1000g en las piedras abrasivas. La probeta presentó cambio de masa, color, espesor y brillo.					4

Se obtuvo un valor de 0.0414 mg/rev que corresponde a la pérdida de peso por revolución.

- Resistencia a la flexión para material de pisos sintéticos (**ASTM D 790**):

  Este ensayo se debe realizar basados en la norma ASTM E290: “Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility” y por parte de la PUJ. El resultado es el siguiente:

Ilustración 93. Resultado de ensayo de flexión material sintético. Módulo de rotura de 9.50 MPa

Se obtuvo un módulo de rotura de 9.50 Mpa.

- Método de prueba estándar para propiedades compresivas de plásticos rígidos (**ASTM D 695-15**):

  Se hicieron cuatro ensayos basados en la norma ASTM D695-15 por parte de la PUJ y se obtuvó una resistencia a la compresión promedio de 23.6 Mpa. Los resultados fueron los siguientes

Tabla 457. Resultado de ensayo de compresión del material sintético

LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS
FORMATO: I-RE-23

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 A LA COMPRESIÓN DE PLÁSTICOS RÍGIDOS
INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: --- PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: ASTM D695-15

CÓDIGO ORDEN: P090-17
PROYECTO: Actualización especificaciones Técnicas IDU
CLIENTE: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA-INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO Ing. Manuel Ocampo-Fredy Reyes
DIRECCIÓN: CALLE 22 N° 6 -27 Bogotá.

Referencia: P090-1_2_3_4_5
Descripción: Poste plástico de 6,5*13 cm, gris.
Fecha de Recepción: 2017-08-03
Fecha de fundida: ---

REFERENCIA		P090-1_1	P090-1_2	P090-1_3	P090-1_4
Fecha de falla		2018-02-08	2018-02-08	2018-02-08	2018-02-08
Muestra		Poste plástico de 6,5*13 cm	Poste plástico de 6,5*13 cm	Poste plástico de 6,5*13 cm	Poste plástico de 6,5*13 cm
Localización:		----	----	----	----
Edad	(días)	----	----	----	----
Diámetro (D)	(cm)	6,5	6,5	6,5	6,5
Altura (L)	(cm)	13,1	13,2	13,1	4372,3
Relación L/D		2,0	2,0	2,0	667,7
Area (A)	(cm^2)	33,0	33,3	33,5	33,7
Factor de Correción (f)		1,0	1,0	1,0	1,0
Peso (g)		380	383	381,0	381,8
Tipo de Falla		N/A	N/A	N/A	N/A
Carga Máxima (W)	(kgf)	8230	8040	7960	7890
Resistencia a la compresión, C = (W/A)*f	(MPa)	24,5 ± 0,7 *	23,7 ± 0,7 *	23,3 ± 0,7 *	23,0 ± 0,7 *
	(kg/cm^2)	249,6 ± 7,6 *	241,5 ± 7,4 *	237,5 ± 7,2 *	234,3 ± 7,1 *
	(psi)	3551 ± 108 *	3435 ± 105 *	3378 ± 103 *	3332 ± 102 *
Especificación	(psi)	----	----	----	----
Resistencia alcanzada	%	---- ± ----	---- ± ----	---- ± ----	---- ± ----

OBSERVACIONES:

- Módulo de elasticidad y relación de Poisson para material de pisos sintéticos (**ASTM B557**):

  Este ensayo fue realizado por parte de la empresa M&G laboratorio, cuyos resultados fueron los siguientes:

Tabla 458. Resultado de ensayo de módulo de elasticidad material sintético

Tabla 3. Resistencia a la Tracción (ASTM B557)

Código Interno Muestra	Producto	Resistencia a la Tracción Probeta 1				
		Área Transversal de la Probeta (mm²)	Esfuerzo a la Tracción (MPa)	Tensión Máxima (N)	Elongación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
17-3697A-1	MATERIAL SINTETICO P 089-17	38,70	12,946	501	3,35	386,452
Código Interno Muestra	Producto	Resistencia a la Tracción Probeta 2				
		Área Transversal de la Probeta (mm²)	Esfuerzo a la Tracción (MPa)	Tensión Máxima (N)	Elongación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
17-3697A-1	MATERIAL SINTETICO P 089-17	33,33	14,327	477,5	4,30	333,176
Código Interno Muestra	Producto	Resistencia a la Tracción Probeta 3				
		Área Transversal de la Probeta (mm²)	Esfuerzo a la Tracción (MPa)	Tensión Máxima (N)	Elongación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
17-3697A-1	MATERIAL SINTETICO P 089-17	31,39	12,235	384	3,45	354,637
Código Interno Muestra	Producto	Resistencia a la Tracción Promedio Probeta 1 a 3				
		Área Transversal de la Probeta (mm²)	Esfuerzo a la Tracción (MPa)	Tensión Máxima (N)	Elongación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
17-3697A-1	MATERIAL SINTETICO P 089-17	34,47	13,169	454,167	3,7	358,088

La Universidad de los Andes realizó también ensayos a este material en un contrato que desarrolló con el IDU en el 2005, encontrándose resultados similares a los obtenidos en este proyecto en los ensayos de punzonamiento, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad.

Se presentan las ventajas y desventajas basadas en los resultados de los ensayos de laboratorio obtenidos del material sintético comparado con los otros dos materiales (concreto y Aluminio) investigados en el presente proyecto:

- Tiene el doble de peso del alumnio, lo que representa mayor fuerza sísmica, y por lo tanto mayores dimensiones en la estructura metálica y la correspondiente cimentación
- No tiene especificaciones para el diseño y la construcción en la NSR-10 y CCP-14, lo cual implica adaptarlo algún material, y que se presenten diferencias conceptuales en la ingeniería en el momento del diseño/construcción. Por ello, no se recomienda hacer una especificación de este material para pisos de puentes peatonales hasta que no se incluya a nivel de diseño en la NSR-10 o CCP-14. Para ello, se recomienda que el gremio que produce este tipo material investigue su comportamiento estructural basados en un plan de ensayos que incluya la caracterización de sus propiedades mecánicas y químicas, como también su comportamiento ante esfuerzos de: tensión, flexión, cortante, torsión, fatiga y efectos combinados. Tambien haga una revisión de su comportamiento ante deformaciones verticales. Esto se debe realizar apoyados en Universidades o centros de investigación especializadas en este tema y en coordinación con la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), de tal forma en un futuro cercano dicho material haga parte de la NSR-10 y/o CCP-14.
- No tuvo ningún daño en la simulación de 5 años de fatiga y una deformación promedio del orden de 5.79 mm, que es la mayor con respecto a las que se produjeron en el aluminio y el concreto.
- Para punzonamiento soporta 7.38 kN que corresponde a la tercera parte de los que soporta el concreto y muy similar a la que soporta el material sintético.
- Tiene un nivel de desgaste menor que la del concreto y aluminio.
- Tiene una resistencia a la compresión similar a la de concreto reforzado convencional (21 Mpa) que corresponde aproximadamente a la mitad de la que soporta el concreto

H.3.5.30 PISOS EN CONCRETO PRETENSADO PARA TABLERO DE PUENTE PEATONAL

Se presentan a continuación los resultados de los diferentes ensayos de laboratorio realizados al material de concreto pretensado para pisos de puente peatonal prototipo para Bogotá y que harán parte de la correspondiente especificación técnica elaborada en este proyecto.

- Fatiga para pisos concreto (**Protocolo**):

  Se hizo un ensayo de fatiga basados en el protocolo elaborado y aprobado por el IDU. En la Ilustración **94.** Deformaciones verticales para la carga de 400 kg durante 5 años de simulación, se puede observar que la deformación vertical producto de la carga de 400 kg, no tuvo una variación importante y correspondió a un promedio de 0.9 mm. Eso mismo pasó con las deformaciones verticales producidas por los demás niveles de carga, donde se simularon cinco años de servicio que correspondió a 5310 ciclos por día. Adicionalmente, durante el ensayo no se observó ningún daño en el concreto ni sus conexiones, lo cual se puede comprobar en el informe de laboratorio en el cual se presenta un registro fotográfico detallado.

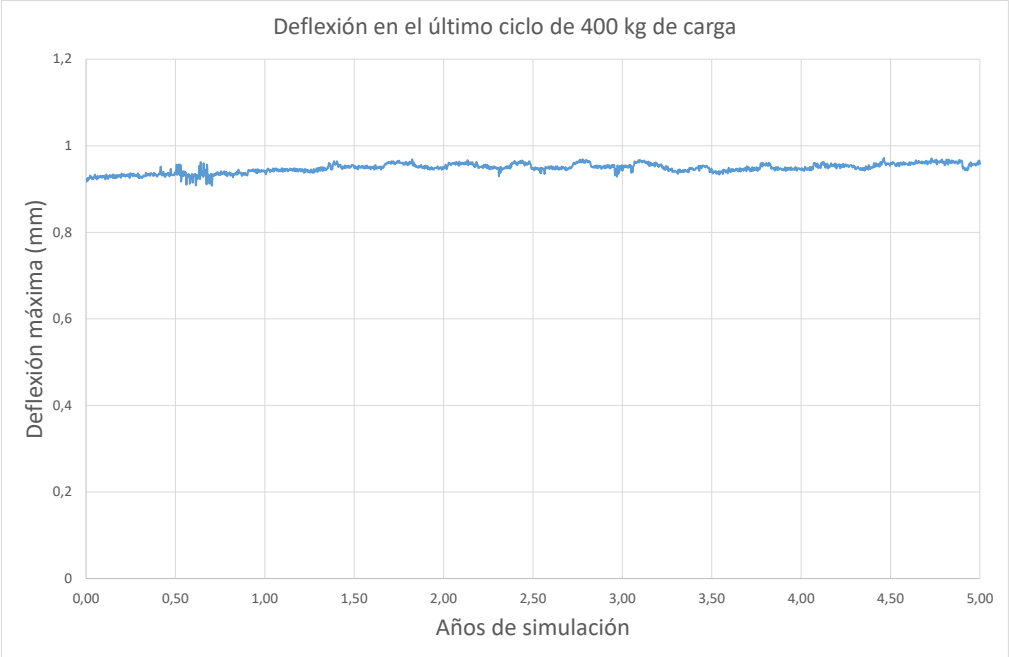


Ilustración 94. Deformaciones verticales para la carga de 400 kg durante 5 años de simulación

- Ensayo de punzonamiento sobre perfil de concreto (**Protocolo**):

  Aplicando el mismo procedimiento explicado anteriormente para el ensayo de punzonamiento del aluminio, donde solamente se hizo un solo ensayo, se obtuvo una carga máxima de 17.34 kN, según los tres (3) puntos evaluados.

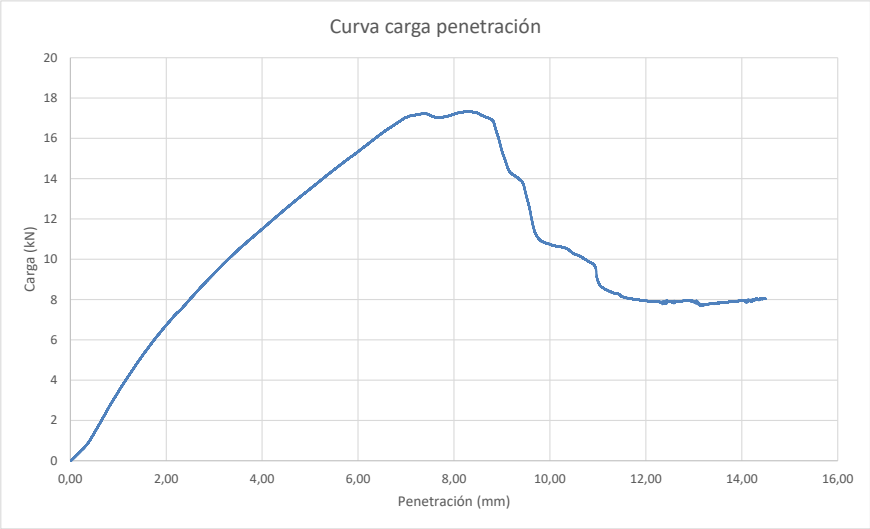


Ilustración 95. Ensayo de punzonamiento. Carga Máxima 17.34 kN

- Desgaste para entrepisos de concreto (**ASTM D 3389**):

  Fue un solo ensayo basado en la norma ASTM D3389 – 16 “Standard Test Method for Coated Fabrics Abrasion Resistance (Rotary Platform Abrader)” y fue realizado por parte de la empresa M&G laboratorio y los resultados fueron los siguientes:

Tabla 459. Resultado de ensayo de desgaste material concreto

Código Interno Muestra	Producto	Desgaste para Material Concreto (500 Ciclos)			
		Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Pérdida de Masa (mg)	Pérdida de masa (%)
17-3697-3	MATERIAL CONCRETO	224,2497	224,1998	49,9	0,22
		Espesor Inicial (mm)	Espesor Final (mm)	Perdida de Espesor (mm)	Perdida de Espesor (%)
		17,42	16,33	1,09	6,67
		Pérdida de Peso por Revolución (mg/rev)		Pérdida de Espesor por Revolución (µm/rev)	
		0,099		2,18	
		Observaciones			Calificación Escala de Grises para Cambio de Color
		Se somete la probeta a un ensayo de abrasión taber durante 500 ciclos. La probeta presentó cambio de masa, color y espesor.			3-4

Se obtuvo un valor de 0.099 mg/rev que corresponde a la pérdida de peso por revolución.

- Resistencia a la flexión para material de pisos de concreto (**ASTM C 78**):

  Fue un solo ensayo basado en la norma ASTM C 78-18 y se encontró que tiene un módulo de rotura de 4.5 MPa.

Tabla 460. Resultado de ensayo de flexión del concreto

RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGAS DE CONCRETO (CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ)

INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: --- PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: ASTM C 78-18

CÓDIGO ORDEN:	P009(1)-18	**CLIENTE:**	PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA - INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - Ing. Paola Santacruz
PROYECTO:	Actualización especificaciones técnicas IDU	**DIRECCIÓN:**	Calle 22 N° 6 - 27 Bogotá.
Referencia:	P009-1	Fecha Recepción:	2018-02-07
Descripción:	Placa de concreto reforzada con fibra	Fecha de Ensayo:	2018-02-08

REFERENCIA	P009-1	----	----	----	----
Fecha de Fundida	----	----	----	-----	-----
Edad del Espécimen (días)	-----	----	----	----	----
Muestra	Concreto para piso Transmilenio	----	----	----	----
Localización	----	----	----	----	----
Ancho promedio en la zona de falla (b) (mm)	400	----	----	----	----
Altura promedio en la zona de falla (d) (mm)	51	----	----	----	----
Longitud libre entre apoyos (L) (mm)	900	----	----	----	----
Fractura "DENTRO" ó "FUERA" del tercio medio de la luz	DENTRO	----	----	----	----
Distancia entre la línea de fractura y el soporte más cercano (a)(mm)	----	----	----	----	----
Carga Máxima (P) (N)	4909,71	----	----	----	----
Módulo de rotura (R) (MPa)	4,50 ± 0,4 *	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *
$R = \frac{PL}{bd^2}$ Dentro del Tercio medio (kg/cm^2)	46,1 ± 4,6 *	---- ± --- *	---- ± --- *	---- ± --- *	---- ± --- *
$R = \frac{3\,Pa}{bd^2}$ Fuera del Tercio medio (psi)	655 ± 65 *	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *	--- ± --- *

- Resistencia a compresión para material de pisos de concreto (**INV E 410-13**):

  Fueron tres ensayos basados en la norma NTC 673-2010 obteniéndose una resistencia a la compresión promedio de 53.4 MPa.

Tabla 461. Resultado de ensayo de compresión del concreto

CÓDIGO ORDEN: P009(1)-17	**CLIENTE:** PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA - INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - Ing. Paola Santacruz
PROYECTO: Actualización especificaciones Técnicas IDU	**DIRECCIÓN:** Calle 22 N° 6 - 27 Bogotá.
Referencia: P009-2_1_2_3	Fecha de Recepción: 2018-02-07
Descripción: Cilindros de concreto con fibras.	Fecha de fundida: ---

REFERENCIA		P009-2_1	P009-2_2	P009-2_3	----
Fecha de falla		2018-02-08	2018-02-08	2018-02-08	----
Muestra		Concreto para piso Transmilenio	Concreto para piso Transmilenio	Concreto para piso Transmilenio	----
Localización:		----	----	----	----
Edad	(días)	----	----	----	----
Diámetro (D)	(cm)	10,2	10,3	10,2	----
Altura (L)	(cm)	20,2	20,3	20,3	----
Relación L/D		2,0	2,0	2,0	----
Area (A)	(cm^2)	81,5	82,6	82,0	----
Factor de Correción (f)		1,0	1,0	1,0	----
Peso (g)		3636	3596	3670,2	----
Tipo de Falla		TIPO 5	TIPO 3	TIPO 3	----
Carga Máxima (W)	(kgf)	42129	37206	45514	----
Resistencia a la compresión, C = (W/A)*f	(MPa)	50,7 ± 1,5 *	44,2 ± 1,3 *	54,4 ± 1,7 *	---- ± ---- *
	(kg/cm^2)	516,9 ± 15,8 *	450,5 ± 13,7 *	554,9 ± 16,9 *	---- ± ---- *
	(psi)	7351 ± 224 *	6407 ± 195 *	7892 ± 241 *	---- ± ---- *

CÓDIGO ORDEN: P009(1)-17	**CLIENTE:** PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA - INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - Ing. Paola Santacruz
PROYECTO: Actualización especificaciones técnicas IDU	**DIRECCIÓN:** Calle 22 N° 6 - 27 Bogotá.
Referencia: P009-3_1_2 y 3	Fecha de Recepción: 2018-02-07
Descripción: Cilindros de concreto con fibras.	Fecha de fundida:

REFERENCIA		P009-3_1	P009-3_2	P009-3-3	----
Fecha de falla		2018-02-09	2018-02-09	2018-02-09	----
Muestra		Concreto para piso Transmilenio	Concreto para piso Transmilenio	Concreto para piso Transmilenio	----
Localización:		----	----	----	----
Edad	(días)	----	----	----	----
Diámetro (D)	(cm)	10,3	10,1	10,1	----
Altura (L)	(cm)	20,3	6783,5	20,3	----
Relación L/D		2,0	669,2	2,0	----
Area (A)	(cm^2)	82,7	80,7	80,7	----
Factor de Correción (f)		1,0	1,0	1,0	----
Peso (g)		3852	3694	3740,3	----
Tipo de Falla		TIPO 4	TIPO 4	TIPO 5	----
Carga Máxima (W)	(kgf)	47390	46474	48188	----
Resistencia a la compresión, C = (W/A)*f	(MPa)	56,2 ± 1,7 *	56,5 ± 1,7 *	58,5 ± 1,8 *	---- ± ---- *
	(kg/cm^2)	573,2 ± 17,5 *	575,9 ± 17,6 *	596,8 ± 18,2 *	---- ± ---- *
	(psi)	8153 ± 249 *	8191 ± 250 *	8489 ± 259 *	---- ± ---- *

- Módulo de elasticidad para entrepisos de losetas prefabricadas (**INV E 424-13**):

  Fueron tres ensayos basados en la norma NTC 4025 – 2010, obteniendo un módulo de elasticidad promedio de 27337 MPa.

Tabla 462. Resultado de ensayo de módulo de elasticidad del concreto

MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL CONCRETO EN CILINDROS A COMPRESION

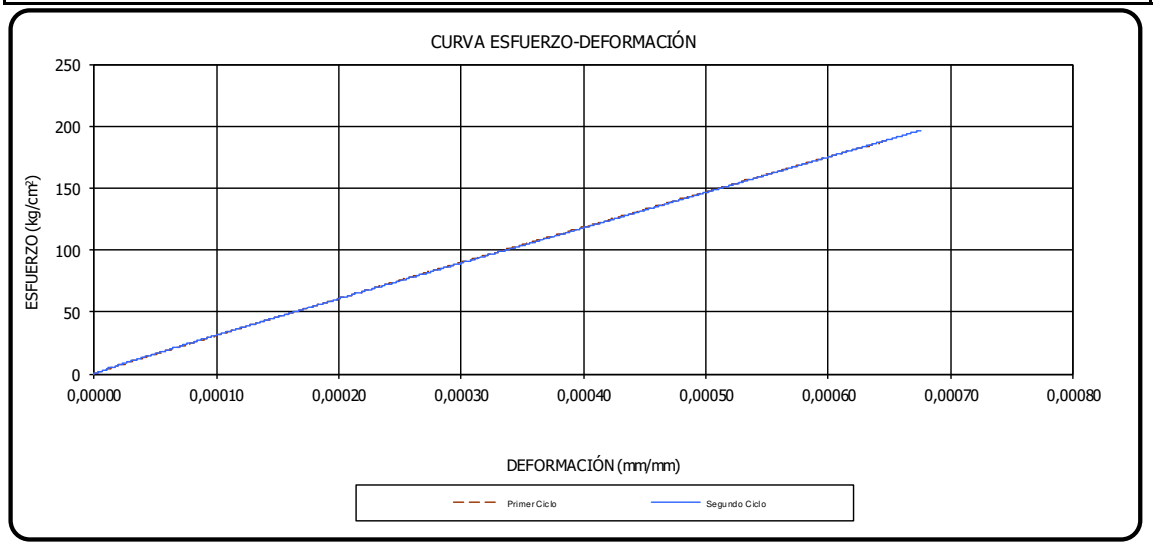
INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-RE-08 — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: NTC 4025 - 2010

CÓDIGO ORDEN:	P009(1)-18	CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA - INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - Ing. Paola Santacruz
PROYECTO:	Actualización especificaciones técnicas IDU	DIRECCIÓN:	Calle 22 N° 6 - 27 Bogotá.

Referencia:	P009-3-1	Muestra:	Concreto para piso Transmilenio
Tipo de Falla:	Tipo 4	Fecha Recepción:	2018-02-07
Historial/Medio Ambiente:	---	Fecha de Ensayo:	2018-02-09
Descripción:	Cilindro de concreto		

Diámetro (mm):	102,6	Esfuerzo Máximo (kg/cm^2):	573		
Altura (mm):	202,6	Esfuerzo Máximo (MPa):	56		
Peso de la Muestra (g):	3852	Módulo de Elasticidad Promedio (kg/cm^2):	288447	±	22696 *
Peso Unitario (g/cm^3):	2,30	Módulo de Elasticidad Promedio (MPa):	28261	±	2224 *
Relacion L/D:	1,97	Coeficiente de Poisson	0,21		
		Factor de Corrección:	1,0		



OBSERVACIONES: T° Ambiente: 20,1

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95%y un factor de expansión k=2.
** Este informe no podrá ser reproducido parcial o completamente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito por parte del laboratorio que lo emite.
*** Los resultados contenidos en este informe sólo hacen referencia al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos de las muestras relacionadas.

Tabla 463. Resultado de ensayo de módulo de elasticidad del concreto

EN CILINDROS A COMPRESION

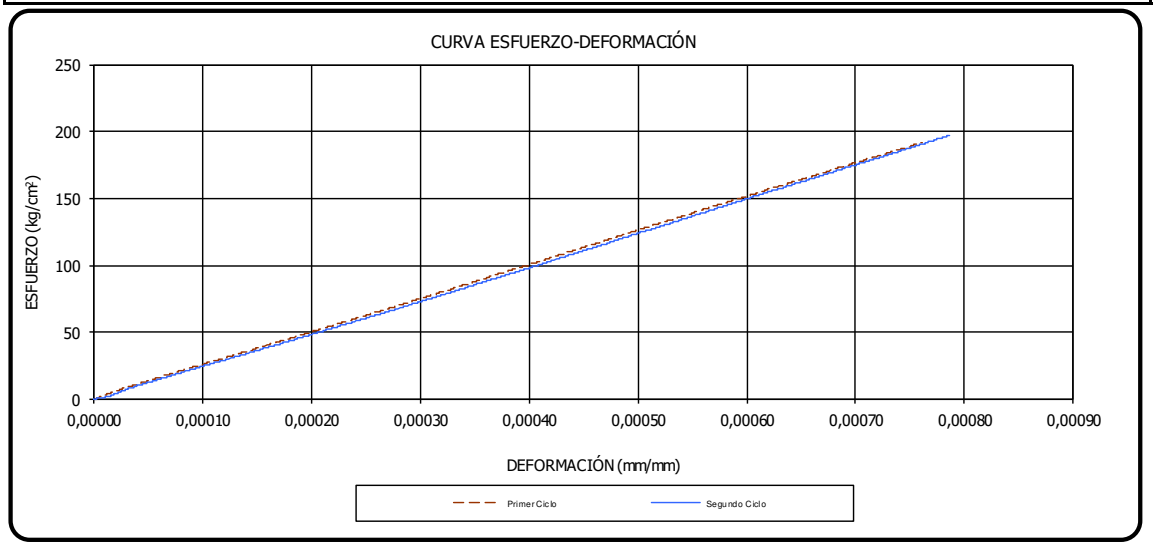
INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-RE-08 — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: NTC 4025 - 2010

CÓDIGO ORDEN:	P009(1)-18	CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA - INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - Ing. Paola Santacruz
PROYECTO:	Actualización especificaciones técnicas IDU	DIRECCIÓN:	Calle 22 N° 6 - 27 Bogotá.

Referencia:	P009-3-2	Muestra:	Concreto para piso Transmilenio
Tipo de Falla:	Tipo 4	Fecha Recepción:	2018-02-07
Historial/Medio Ambiente:	---	Fecha de Ensayo:	2018-02-09
Descripción:	Cilindro de concreto		

Diámetro (mm):	101,4	Esfuerzo Máximo (kg/cm^2):	576		
Altura (mm):	202,9	Esfuerzo Máximo (MPa):	56		
Peso de la Muestra (g):	3694	Módulo de Elasticidad Promedio (kg/cm^2):	250338	±	19697 *
Peso Unitario (g/cm^3):	2,26	Módulo de Elasticidad Promedio (MPa):	24527	±	1930 *
Relacion L/D:	2,00	Coeficiente de Poisson	0,19		
		Factor de Corrección:	1,0		



OBSERVACIONES: T° Ambiente: 20,1

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95%y un factor de expansión k=2.
** Este informe no podrá ser reproducido parcial o completamente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito por parte del laboratorio que lo emite.
*** Los resultados contenidos en este informe sólo hacen referencia al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos de las muestras relacionadas.

Tabla 464. Resultado de ensayo de módulo de elasticidad del concreto

MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL CONCRETO EN CILINDROS A COMPRESION

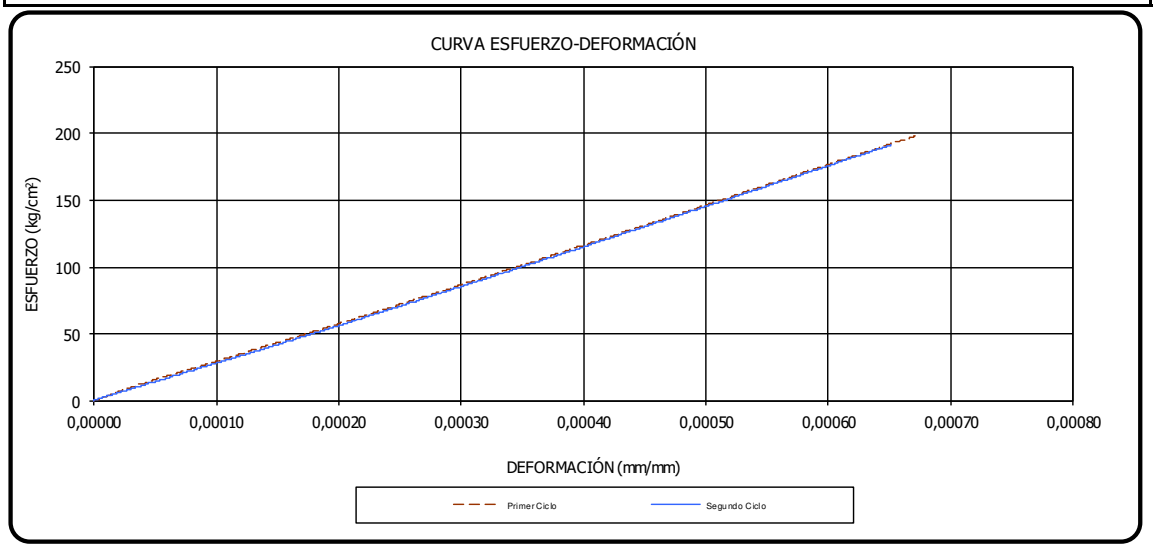
INFORME DE ENSAYO

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-RE-08 — PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: NTC 4025 - 2010

CÓDIGO ORDEN:	P009(1)-18	CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA - INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - Ing. Paola Santacruz
PROYECTO:	Actualización especificaciones técnicas IDU	DIRECCIÓN:	Calle 22 N° 6 - 27 Bogotá.

Referencia:	P009-3-3	Muestra:	Concreto para piso Transmilenio
Tipo de Falla:	Tipo 5	Fecha Recepción:	2018-02-07
Historial/Medio Ambiente:	---	Fecha de Ensayo:	2018-02-09
Descripción:	Cilindro de concreto		

Diámetro (mm):	101,4	Esfuerzo Máximo (kg/cm^2):	597		
Altura (mm):	203,2	Esfuerzo Máximo (MPa):	58		
Peso de la Muestra (g):	3740,3	Módulo de Elasticidad Promedio (kg/cm^2):	298268	±	23469 *
Peso Unitario (g/cm^3):	2,28	Módulo de Elasticidad Promedio (MPa):	29223	±	2299 *
Relacion L/D:	2,00	Coeficiente de Poisson	0,21		
		Factor de Corrección:	1,0		



OBSERVACIONES: T° Ambiente: 20,1

* El valor reportado corresponde a la incertidumbre calculada con un nivel de confianza del 95%y un factor de expansión k=2.
** Este informe no podrá ser reproducido parcial o completamente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito por parte del laboratorio que lo emite.
*** Los resultados contenidos en este informe sólo hacen referencia al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos de las muestras relacionadas.

Se presentan las ventajas y desventajas basadas en los resultados de los ensayos de laboratorio obtenidos del concreto pretensado comparado con los otros dos materiales (Aluminio y sintetico) investigados en el presente proyecto:

- Tiene el mayor peso con respecto a los otros dos materiales, lo cual represente mayor fuerza sísmica, y por lo tanto mayores dimensiones en la estructura metálica y la correspondiente cimentación. Es 8.5 veces mayor que el aluminio.
- Tiene especificaciones para el diseño y la construcción estipulados en la NSR-10 y CCP-14
- No tuvo ningún daño en la simulación de 5 años de fatiga y una deformación promedio del orden de 0.9 mm, menor que la del aluminio y el material sintético.
- Para punzonamiento soporta 17.34kN que es mayor a la del aluminio y a la de material sintético.
- Tiene un nivel de desgaste similar al del aluminio, pero mayor que el material sintético.
- Tiene una resistencia a la compresión y módulo de elasticidad alto comparado con el material sintetico.
- Tiene mayor rigidez vertical que el aluminio y el material sintético.
- No tiene problemas de robo

H.4 ACTUALIZACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS IDU ET 2011

Tal y como lo indica el objeto del proyecto, el desarrollo de todas las actividades ejecutadas, fueron realizadas con el propósito de contar con información que soporte la actualización de las Especificaciones técnicas IDU ET 2011.

El proceso de actualización de las Especificaciones técnicas fue adelantada por cada uno de los especialistas, de acuerdo con su área de trabajo, atendiendo las necesidades técnicas, las informadas por las áreas ejecutadas del Instituto mediante la Dirección Técnicas Estretagica, y las informadas por los gremios asociados mediante las mesas de trabajo informadas en el numeral H.1

El presente capítulo consta de 4 partes fundamentales las cuales se enuncian a continuación y luego van a ser desarrolladas:

1. Plan de trabajo
2. Especificaciones Técnicas Generales IDU actualizadas
3. Especificaciones Técnicas Generales – Versión práctica
4. Relación de los principales cambios realizados a las Especificaciones Técnicas de Materiales y Construcción IDU ET 2011

H.4.1 PLAN DE TRABAJO

Como resultado de las actividades ejecutadas durante la Etapa preliminar, es definido dentro del Plan de trabajo, la necesidad de generar, actualizar o complementar los capítulos y secciones de las Especificaciones técnicas IDU ET 2011, por cada uno de los profesionales asociado con su especialidad.

Una vez definida la acción a realizar sobre los capítulos y secciones de las Especificaciones técnicas IDU ET 2011, se realiza la programación ajustada al tiempo de ejecución del contrato con del trabajo sobre cada una, relacionada con los tiempos de entrega de los 4 productos requeridos durante la Etapa de ejecución (3 informes de avance e informe final de la consultoria), y con el desarrollo de las actividades de laboratorio programada en el Plan de ensayos, para ser consecuente con el análisis de resultados.

Adicional a lo anterior, conforme a lo estipulado en el el numeral 6.1.2 del Anexo Técnico Separable, referente a la actualización del Plan de Trabajo en común acuerdo entre el Instituto y el consultor, atendiendo las necesidades justificadas tratadas por los especialistas fue realizada la actualización del Plan de trabajo, mediante mesas de trabajo adelantadas. Es asi, como estas modificaciones fueron adelantadas durante la etapa de ejecución, hasta alcanzar la versión final que se presenta en el Anexo 4.1.

Los cambios anteriormente mencionados se encuentran relacionados con los cambios en las nuevas especificaciones, según la necesidad que se verificó que existe en la ciudad.

En el Anexo 4.1 que corresponde al Plan de Trabajo actualizado.

H.4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES IDU ACTUALIZADAS

Las actuales Especificaciones técnicas IDU-ET-2011 cuentan con 7 capítulos y 55 secciones, de las cuales se partio para la presente actualización que obtuvo como resultado las especificaciones técnicas IDU ET 2018, con 12 capítulos (ver Tabla 465) y 90 especificaciones.

Tabla 465. Cambios en los capítulos de las especificaciones

ESPECIFICACIONES IDU ET 2011	ESPECIFICACIONES IDU ET 2018
Capítulo 1 Aspectos generales **Capítulo 2** Materiales básicos **Capítulo 3** Excavaciones y rellenos **Capítulo 4** Subbases y bases **Capítulo 5** Revestimientos asfálticos **Capítulo 6** Concreto **Capítulo 7** Espacio Público	**Capítulo 1** Aspectos generales **Capítulo 2** Materiales básicos **Capítulo 3** Excavaciones, rellenos y subdrenes **Capítulo 4** Subrasante * **Capítulo 5** Subbases y bases **Capítulo 6** Riegos y mezclas asfálticas **Capítulo 7** Actividades de conservación pavimentos asfálticos * **Capítulo 8** Concreto hidráulico **Capítulo 9** Actividades de conservación pavimentos de concreto hidráulico * **Capítulo 10** Espacio público **Capítulo 11** Ciclorrutas * **Capítulo 12** Obras varias para estructuras de puentes vehiculares y peatonales *

*Capítulos nuevos

De los 12 capitulos y 90 especificaciones trabajadas se tienen:

- 7 capitulos actualizados
- 5 capitulos generados
- 50 especificaciones actualizadas
- 40 especificaciones generadas

El documento de Especificaciones Técnicas IDU ET 2018 se encuentra en el Anexo 4.

H.4.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES – VERSIÓN PRÁCTICA

La versión práctica de las especificaciones técnicas corresponde a una versión resumida, que permite la verficación, en obra, de los valores de referencia para el cumplimiento de la calidad requerida de los materiales, mezcla de materiales y actividades de obra, la cual se encuentra en el Anexo 4.3 del presente informe.

H.4.4 MATRIZ DE RELACIÓN DE LOS PRINCIPALES CAMBIOS REALIZADOS A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN IDU ET 2011

Con el fin de tener claros y definidos los cambios realizados en las nuevas especificaciones técnicas, se realizaron diferentes matrices de cambios entre las especificacione comparando las especificaciones de 2011 y 2018. De la misma forma, se realizaron observaciones a cada una de las especificaciones, tanto las que fueron generadas, como las que fueron modificadas. Cada una de estas matrices se encuentran en el Anexo 4.4 del presente documento.

H.4.5 ATENCIÓN A COMENTARIOS DE LAS ESPECIFICACIONES

Según el Anexo Técnico, luego de realizar la socialización en la cual se anuncian los resultdos obtenidos durante la ejecución del proyecto, se reciben y analizan los comentarios sobre las especificaciones, por lo cual en el Anexo 4.5 se encuentran las matrices de los diferentes comentarios recibidos y su respectiva atención por parte de los especialistas de la Universidad.

H.5 REQUISITOS DE CALIDAD

Los requisitos de calidad se encuentran directamente asociados con el cumplimiento de los lineamientos establecidos en el Plan de calidad que permitan tener confiabilidad los resultados de ejecución de ensayos de procedimientos normalizados y no normalizados.

H.5.1 PLAN DE CALIDAD

Durante la etapa preliminar se desarrolló el Plan de Calidad por parte del Laboratorio de Pruebas y Ensayos del Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana, con el fin de dar seguimiento y cumplir los requisitos de calidad para las actividades de los ensayos de campo y laboratorio

Es asi como dentro del Plan de calidad se establecen las medidas aplicables en materia de: competencia del personal involucrado en las actividades propias de laboratorio, disposición de las condiciones ambientales requeridas dentro de los procedimientos de ensayo, calibración, mantenimiento o verificación de los equipos de ensayo y manejo de las muestras. Cabe resaltar que dentro de los informes de avance e informe final de la consultoria fueron presentados actuzalidos los certificados de calibración o verificación, según sea el caso, de los equipos utilizados, conforme a los tiempos establecidos dentro de la normatividad aplicable.

En el Anexo 5., se presenta el plan de calidad el cual fue aprobado por el Instituto durante la etapa preliminar, el cual no tuvo modificaciones durante la etapa de ejecución.

H.6 SOCIALIZACIÓN Y TRANSFERENCIA DEL CONOCIMIENTO

Durante el proceso de Concurso de Meritos Abierto – CMA- que dio lugar al proyecto en mención, la Pontificia Universidad Javeriana, aplico la puntuación dada por "*horas de capacitación en el objeto a cumplir"*, contemplado dentro del pliego de condiciones.

Para el cumplimiento del compromiso adquirido se fueron realizadas 3 capacitaciones, con los temas acordados de manera conjunta con la Dirección Técnica Estrategica, atendiendo necesidades generadas al interior del Instituto y relacionadas con el desarrollo de la consultoria.

La primera socialización realizada en el proyecto fue el día 11 de mayo del año 2017, fue realizada de manera conjunta entre el Instituto y la Pontificia Universidad Javeriana, donde se realizó la exposición sobre el contenido del proyecto, por parte del equipo de apoyo a la supervisión del contrato por parte del IDU, y posterior exposición de la importancia del control de calidad sobre los materiales.

Ilustración 96. Primera parte de la socialización, por parte de la Dra Joanny Camelo Yepez

Ilustración 97. Primera parte de la socialización por parte del Ing. Oscar Velasquez.

Ilustración 98. Socialización del proyecto por parte del Ing. Alexander Ibarra.

Ilustración 99. Socialización del proyecto por parte del Ing. Fredy Reyes.

La segunda socialización realizada fue el día 4 de septiembre de 2017 en las instalaciones del IDU sobre los RCD por parte de la especialista de materiales para infraestructura vial de la Pontificia Universidad Javerina, la Ingeniera Vivian Ulloa, titulada “Construyendo caminos hacia el ciclo cerrado de la construcción”, en donde se trataron temas como su historia, el porcentaje de utilización de estos en países del mundo, sus diferentes aplicaciones, el ciclo cerrado de la construcción que se puede realizar con el uso de estos materiales y la forma de hacerlo responsablemente.

Como soporte de dicha socialización se presentan la Ilustración 100 e Ilustración 101.

Ilustración 100. Primera parte de la socialización, por parte de la Ing Vivian Ulloa

Ilustración 101. Socialización del proyecto por parte de la Ing. Vivian Ulloa.

La tercera socialización realizada a lo largo de la etapa de ejecución fue realizada por el especialista en Infraestructura Vial y Pavimentos, el Ingeniero Manuel Ocampo, el día 8 de mayo, donde se trató el la importancia y fundamento del ensayo de módulo resiliente en suelos granulares para los pavimentos.

Ilustración 102. Tercera socialización del proyecto realizada por parte del Ing. Manuel Ocampo

Ilustración 103. Tercera socialización del proyecto realizada por parte del Ing. Manuel Ocampo

Adicionalmente en el Anexo Técnico Separable del proyecto, fue contemplada la realización de una Socialización y transferencia de conocimiento, previa a la finalización del contrato, para informar a los funcionaros designados por el IDU, gremios, academia y publico en general, los principales cambios realizados a las Especificaciones Técnicas IDU ET 2011, para recibir observaciones por parte de los asistentes, y ser evaluada posteriormente la pertinencia de aplicación entre el Instituto y los especialistas.

Por solicitud del Instituto, fue realizada el día 28 de mayo del presente año, una sesión exclusiva para los funcionarios del IDU, dentro de las instalaciones del Instituto. Seguido a esto fue realizada en dos jornadas la socialización a gremios, academia y publico en general los días 28 y 29 de mayo, en las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana.

Las socialiazaciones contaron con la presencia de la totalidad de los especialistas y director de la consultoria, quienes expusieron los principales cambios de sus espeficaiciones a cargo.

Ilustración 104. Cuarta socialización del proyecto realizada por parte del Ing. Fredy Reyes, director del proyecto

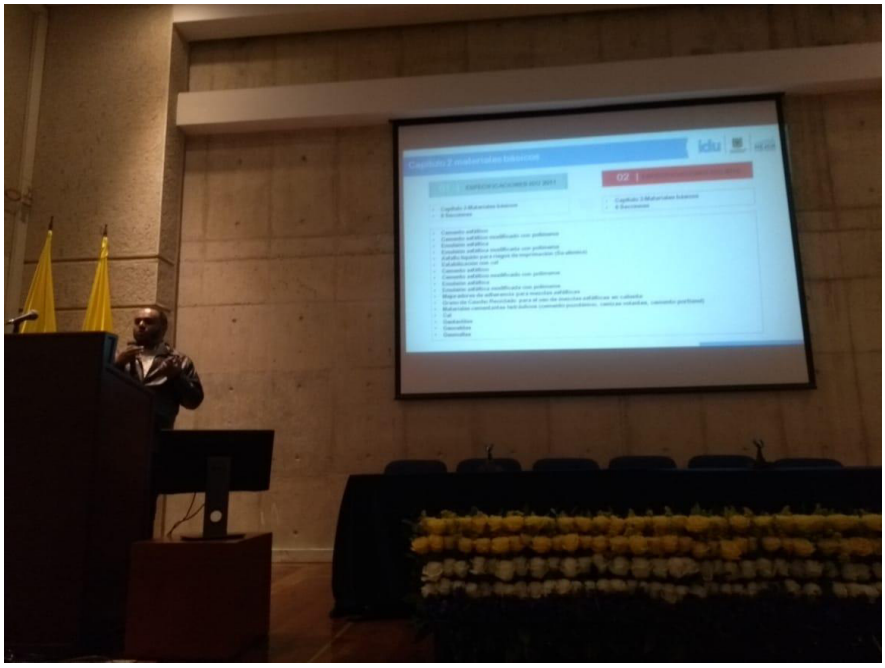


Ilustración 105. Cuarta socialización del proyecto realizada por parte del Ing. Orlando Rincón, especialista en geotecnia.

Ilustración 106. Cuarta socialización del proyecto realizada por parte del Ing. Manuel Ocampo, especialista en infraestructura vial y pavimentos.

Ilustración 107. Cuarta socialización del proyecto realizada por parte de la Ing. Vivian Ulloa, especialista en materiales para infraestructura vial.

Ilustración 108. Cuarta socialización del proyecto realizada por parte del Ing. Edgar Muñóz, especialista en estructuras.

Cabe resaltar que la socialización y transferencia de conocimiento final señalada en el Anexo Técnico Separable, se va a realizar el 16 de agosto del presente año conforme a lo indicado en el acta de terminación del contrato.

I. CONCLUSIONES

I.1 LIGANTES ASFALTICOS

Después de analizados los resultados disponibles de los ligantes asfalticos ensayados, se puede evidenciar como la mayoría de las deficiencias podrían estar relacionadas con el proceso de producción de los ligantes en las refinerías, lo cual no pertenece al alcance de las presentes especificaciones ya que ECOPETROL es el único proveedor de ligantes, y produce bajo sus condiciones e intereses estratégicos sin preocuparse por la uniformidad y calidad del asfalto al ser casi considerado como un residuo de su producción.

Otro aspecto fundamental sobre los ligantes que se observa es la necesidad de avanzar en el sistema de calificación a un sistema basado en un parámetro fundamental que permita evaluar mejor el desempeño, eliminando el protagonismo de la penetración, que es una prueba, que, si bien es rápida para verificación, sus incertidumbres son altas y no permite analizar la susceptibilidad de los ligantes ni evaluar su desempeño a largo plazo.

Para los ligantes asfálticos (cemento asfalticos y emulsiones): Una vez finalizada la caracterización a partir de las muestras ensayadas, es posible observar cómo el cemento asfáltico que se está produciendo, no garantiza los requerimientos mínimos de calidad para avalar un adecuado desempeño en el tiempo de la capa de rodadura. Por otra parte, las emulsiones ensayadas fueron más consistentes en su calidad, esto sugiere que el instituto deberá impulsar y tender más el desarrollo de estructuras de pavimento con mezclas en frio, contario a lo que se hace actualmente en donde se desarrollan proyectos exclusivamente con mezclas en caliente.

De acuerdo con los ensayos realizados se pudo detectar una variabilidad alta en los ligantes y una potencial afectación debido al choque térmico durante producción, lo que revela la necesidad de implementar controles en planta previo a la producción y durante con la finalidad de intentar garantizar la utilización de ligantes con menos susceptibilidad térmica en lo posible y su detección previa a la instalación.

I.2 AGREGADOS PÉTREOS PARA BASES Y SUBBASES

Se cambia la denominación de las granulometrías admisibles para la construcción de Bases y Subbases granulares. La designación de los materiales granulares se realiza mediante la combinación de letras mayúsculas, las cuales se encuentran relacionadas con la descripción del tipo de mezcla o riego, como se indica en la Tabla 466 mientras que los números son asignados conforme al tamaño máximo del agregado pétreo utilizado.

Tabla 466 Denominación de los materiales para capas granulares

Especificación	Denominación	Descripción
510	BG	Base Granular
510	SBG	Subbase Granular
514	BG_MBR	Base Granular adicionada con MBR
514	SBG_MBR	Subbase Granular adicionada con MBR
520	BG_CH	Base Granular mejorada con Cemento Hidráulico
520	SBG_CH	Subbase Granular mejorada con Cemento Hidráulico
521	BG_EA	Base Granular mejorada con Emulsión Asfáltica
521	SBG_EA	Subbase Granular mejorada con Emulsión Asfáltica
522	BG_CA	Base Granular mejorada con Cemento Asfáltico
522	SBG_CA	Subbase Granular mejorada con Cemento Asfáltico

Se elimina la Clase de material B (clase intermedia), y la Clase C se renombra como Clase B, quedando especificadas solo dos calidades de materiales (Case A, y Clase B). A la Case A, y Clase B, se le realizaron los ajustes que se indican a continuación.

Se elimina la franja granulométrica SB_Gr2 por su parecido con la franja BG_Gr2, quedando solamente tres (3) franjas granulométricas (2 para Base granular y 1 para Subbase granular).

- Equivalente de arena de suelos y agregados finos (**INV E-133-13**):

Se incrementó este requisito para Bases, a 30%, y para Subbases a 22%. Cinco (5) muestras no cumplen con este nuevo requisito; sin embargo, en las actualizaciones de las especificaciones de 2011 se incorporó la siguiente nota para los materiales que no cumplan este requisito “En caso de que el equivalente de arena sea inferior, pero se cumpla plasticidad y azul de metileno, se acepta el material con un concepto del desempeño por parte del especialista de geotecnia y/o pavimentos.”

Sólo dos (2) muestras no cumplieron con ninguno de estos tres requisitos: P119-2 (BG_C, agregado de cantera, resultado 26%), y P048(1)-2 (BG_A, proyectos en ejecución, resultado 26.33%).

- CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada **(INV E-148-13**):

Debido a que se incorporó el requisito de Módulo Resiliente (INV E-156-13), para los materiales de Base y Subbase granular Clase A, el requisito de CBR se elimina para estos materiales.

- Módulo resiliente de suelos y agregados (**INV E-156-13**).

Se incorpora el requisito de Módulo Resiliente para los materiales de Base y Subbase granular Clase A. Los valores requeridos son de 100 MPa para la Base granular (evaluado para una condición de esfuerzos de 207 kPa), y 70 MPa para la Subbase granular (evaluado para una condición de esfuerzos de 83 kPa). La validación del módulo resiliente para la Base granular se debe realizar comparándolo con el valor obtenido en laboratorio para la condición de esfuerzos de 207 kPa (invariante de esfuerzos θ), de acuerdo con la norma de ensayo INV E-156-13; y la validación del módulo resiliente para la Subbase granular se debe realizar comparándolo con el valor obtenido en laboratorio para la condición de esfuerzos de 83 kPa (invariante de esfuerzos θ), de acuerdo con la norma de ensayo INV E-156-13. Los valores requeridos son de 100 MPa para la Base granular, y 70 MPa para la Subbase granular. Todos los materiales ensayados cumplen con este requisito.

- Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados **(INV E-211-13).**

Las capas granulares deben estar libre de arcilla o cualquier otra sustancia que afecte su buen desempeño. Los valores especificados para este parámetro son iguales a los considerados por el Invías; así las cosas, se considera que los valores especificados para este parámetro no deben ser modificados.

- Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio (**INV E-220-13**):

La naturaleza de este ensayo busca simular las condiciones y afectaciones de los materiales debido a los procesos de congelamiento y descongelamiento, que pueden inducir el fracturamiento de los agregados por expansión del agua congelada en las micro-fisuras; esta condición no es representativa para los materiales a utilizar en Bogotá por sus condiciones climáticas (esto aplica igualmente a todos los materiales a utilizarse en países tropicales). Adicionalmente, es un ensayo que tiene mala repetitividad, y que se ha

planteado por muchos autores[4] como no representativo para estimar las condiciones de desempeño en campo del material. Por lo anterior, este requisito se elimina de las especificaciones para Bases y Subbases granulares, más aún teniendo en cuenta que están especificados controles de dureza a partir de ensayos como el 10% finos, el Micro-Deval, y el desgaste en la máquina de los Ángeles, que tasan en una forma satisfactoria la durabilidad de los materiales.

- Determinación del valor del 10% de finos **(INV E 224-13).**

Es importante tener en cuenta que las partículas deben tener la resistencia suficiente para resistir la degradación o el fracturamiento durante la construcción, y bajo las cargas de compactación y del tráfico. No se considera necesario modificar los valores especificados.

- Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso (**INV E 227-13**).

Para las capas granulares de Base, se prefiere el uso de agregados angulares, casi equidimensionales con una textura de superficie rugosa, con el fin de asegurar un alto grado de fricción interna y resistencia al deslizamiento del agregado. Por lo anterior, se incrementó el requisito de partículas fracturas para la Base granular Clase A, a 100% para 1 cara, y a 70% para 2 caras. Todos los materiales ensayados cumplen con este requisito.

- Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras (**INV E-230-13**).

Debido a que se incorporó el requisito de “Proporción de las partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos” (INV E-240-13), para los materiales de Base granular, se eliminó el requisito de “Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras”.

- Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión utilizando el aparato Micro-Deval (**INV E-238-13**):

Con esta modificación, cambió el cumplimiento para las muestras P149-1 (material de cantera BG_A) y P035(2)-3 (material proyectos en ejecución BG_A); sin embargo, los siguientes dos materiales no alcanzan a cumplir con el nuevo requisito: P035(2)-5-6 (material proyectos en ejecución BG_A, resultado 28.7%, P048(1)-2 (material proyectos en ejecución BG_A, resultado 27.4%).

[4] Fowler D. W., Allen J. J., Lange A., Range P; International Center for aggregates research. The prediction of coarse aggregate performance by Micro-Deval and Soundness related aggregate tests. Research report ICAR 507-1F. 2006.

- Proporción de las partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos (**INV E-240-13**):

Se remplaza la obtención del "índice" de partículas planas y alargadas por la determinación de su "porcentaje", requiriéndose para una relación ancho-espesor (partículas planas), y longitud-ancho (partículas alargadas), mayores a 3 (relación 1:3). El valor especificado, sólo para Bases granulares, debe ser máximo 20%. Todos los materiales ensayados cumplen con este requisito.

Se elimina el requisito intermedio de materiales (Clase B en las especificaciones 2011), quedando éstos materiales en las nuevas especificaciones sólo con dos requisitos (Clase A y Clase B).

I.3 AGREGADOS PÉTREOS DE SUBBASE ADICIONADA CON MBR

La mezcla de materiales granulares y material bituminoso reciclado debe cumplir los requisitos mínimos de calidad indicados para los materiales granulares de Base y Subbase granular.

- Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (**INV E-213-13**):

El diseño de estos materiales se especifica dando cumplimiento a las curvas granulométricas dentro de la franja indicadas para Bases o Subbases granulares.

I.4 AGREGADOS PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

- Equivalente de arena de suelos y agregados finos (**INV E-133-13**):

Se incrementó este requisito para los tres nuevos niveles de tránsito, a 50% mínimo. Una (1) muestra no cumple con este nuevo requisito (P084-2, valor de 19%); sin embargo, en las actualizaciones de las especificaciones de 2011 se incorporó la siguiente nota para los materiales que no cumplan este requisito "En caso de que el equivalente de arena sea inferior, pero se cumpla plasticidad y azul de metileno, se acepta el material con un concepto del desempeño por parte del especialista de geotecnia y/o pavimentos." La muestra que no cumplió, cumple con el requisito de Azul de Metileno (P084-2, valor de 6.66 g/ml).

- Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras (**INV E-230-13**).

Debido a que se incorporó el requisito de "Proporción de las partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos" (**INV E-240-13**), se eliminó el requisito de "Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras".

- Proporción de las partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados **gruesos** (**INV E-240-13**):

Se remplaza la obtención del "índice" de partículas planas y alargadas por la determinación de su "porcentaje", requiriéndose para una relación ancho-espesor (partículas planas), y longitud-ancho (partículas alargadas), mayores a 5 (relación 1:5). El valor especificado debe ser máximo 10%. Todos los materiales ensayados cumplen con este requisito.

- Efecto del agua sobre las mezclas asfálticas sueltas (**INV E-757-13**):

Con el fin de garantizar que los agregados pétreos a utilizarse en la mezcla asfáltica sean afines con los ligantes asfálticos, lo que aportaría al buen desempeño de las mezclas asfálticas, se solicita "reportar" el resultado de Adhesividad para el agregado grueso, para los tres nuevos niveles de tránsito.

- Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (Método Riedel – Weber; **INV E-774-13**):

Con el fin de garantizar que los agregados pétreos a utilizarse en la mezcla asfáltica sean afines con los ligantes asfálticos, lo que aportaría al buen desempeño de las mezclas asfálticas, se incorpora el requisito de Adhesividad para el agregado fino, para los tres nuevos niveles de tránsito, con un índice mínimo de 4; para mezclas Discontinuas y Drenantes, se solicita "reportar" el resultado.

I.5 MEZCLAS ASFÁLTICAS

- Se cambia la denominación de las granulometrías admisibles para las mezclas asfálticas. La designación de las mezclas se realiza mediante la combinación de letras mayúsculas, las cuales se encuentran relacionadas con la descripción del tipo de mezcla o riego, como se indica en la Tabla 467, mientras que los números son asignados conforme al tamaño máximo del agregado pétreo utilizado.

Tabla 467. Denominación de las capas de protección con agregados y mezclas asfálticas

Especificación	Denominación	Descripción
620	MD	Mezcla asfáltica en caliente densa
620	MS	Mezcla asfáltica en caliente semidensa
620	MG	Mezcla asfáltica en caliente gruesa
621	MAM	Mezcla asfáltica en caliente de alto módulo
622	MDr	Mezcla asfáltica en caliente drenante
623	MAC	Mezcla asfáltica en caliente abierta
624	MM	Mezcla asfáltica en caliente discontinua para capa de rodadura (Microaglomerado en Caliente tipo M)
624	MF	Mezcla asfáltica en caliente discontinua para capa de rodadura (Microaglomerado en Caliente tipo F)
625	MCCh	Mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con caucho por vía húmeda
626	MCCs	Mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con caucho por vía seca
628	MDF	Mezcla asfáltica en frío densa
629	MAF	Mezcla asfáltica en frío abierta

- Equivalente de arena de suelos y agregados finos (**INV E-133-13**):

Se incrementó este requisito para los tres nuevos niveles de tránsito, a 50% mínimo.

- Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras (**INV E-230-13**).

Debido a que se incorporó el requisito de “Proporción de las partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos” (**INV E-240-13**), se eliminó el requisito de “Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras”.

- Proporción de las partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos (**INV E-240-13**):

Se remplaza la obtención del “índice” de partículas planas y alargadas por la determinación de su “porcentaje”, requiriéndose para una relación ancho-espesor (partículas planas), y

longitud-ancho (partículas alargadas), mayores a 5 (relación 1:5). El valor especificado, debe ser máximo 10%.

- Efecto del agua sobre las mezclas asfálticas sueltas (**INV E-757-13**):

Se solicita "reportar" el resultado de Adhesividad para el agregado grueso, para los tres nuevos niveles de tránsito.

- Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (Método Riedel – Weber; **INV E-774-13**):

Se incorpora el requisito de Adhesividad para el agregado fino, para los tres nuevos niveles de tránsito, con un índice mínimo de 4, a excepción del agregado fino para mezclas Discontinuas y Drenantes, dónde se solicita "reportar" el resultado.

I.6 AGREGADOS RECICLADOS OBTENIDOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

- Actualmente los provedores de agregados reciclados no cuentan con fichas técnicas completas para este tipo de material, que mitigue la dispersión sobre los resultados y estandarice el producto, por lo que debe realizarse la exigencia de ensayos como el de composición que puede contribuir a definir el material.
- La evaluación del contenido de materia orgánica **(INV E-121-13)** utilizando el método de ignición, reporto en general valores entre 2,5% y 5%, sin embargo, existe amplia discusión en la literatura sobre el ensayo o técnica para evaluar esta propiedad en los agregados reciclados.

- Proporción de partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos **(INV E-240-13)**

En general la forma depende del tipo de trituración utilizado en el proceso de valorización del RCD, por lo que se considera que está ligado a los controles y procedimientos en las plantas de valorización y por lo tanto no es una característica restrictiva para el uso de agregados reciclados.

- Determinación del valor del 10% de finos **(INV E 224-13).**

Cabe destacar que el coeficiente de los ángeles es un ensayo que no termina de definir adecuadamente el agregado reciclado, teniendo en cuenta que, durante la ejecución del ensayo, se puede pulverizar el mortero adherido de los agregados reciclados de concreto, debido a su porosidad y en el caso de los agregados reciclados cerámicos la generación de finos puede traer un efecto favorable que pueden contribuir en el proceso de compactación a potenciar la reacción puzolánica, por lo que en estos casos, el mayor desgaste en la máquina de los ángeles es compensado por una mejor cohesión del material durante su compactación.

- CBR de los suelos compactados en el laboratorio **(INV E-148-13)**

El agregado reciclado mixto manifiesta ganancia de capacidad portante, medida a través de su índice CBR, como consecuencia de reacciones hidráulicas y/o puzolánicas entre las diferentes fases minerales constitutivas de este tipo de material granular.

No es posible hacer una correlación de los agregados reciclados con la temporalidad o la planta donde se ha realizado el proceso de valoración, debido a la gran heterogeneidad del material de entrada a las plantas de valorización, por lo que se considera importante establecer rangos de composición para los materiales que componen el agregado reciclado, intentando verificar que el grupo logra cumplir propiedades en valores similares.

Los resultados muestran que el agregado reciclado presenta un buen comportamiento a compactación, alcanzándose densidades en torno a la óptima con un número de pasadas habitual. Comparando la compactación del agregado reciclado con la del Tipo A agregado de natural, se estableció que:

- La densidad del a agregado reciclado es inferior a la del agregado de cantera, debido a su propia naturaleza.
- La humedad óptima de compactación del agregado reciclado es superior a la humedad de compactación del a agregado de cantera, debido a la absorción asociada a los componentes del agregado reciclado.

Aunque se ha constatado que los agregados reciclados AR producto de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) no cumplen con todo lo exigido a un agregado natural, se ha observado en ensayos que el material en conjunto con la humedad y compactación necesarias, puede alcanzar los niveles de calidad exigidos en proyectos de infraestrutura vial, por lo tanto el uso de agregados reciclados AR puede enfocarse a garantizar la calidad

final de la obra, sin embargo para el desarrollo del presente contrato no se logró contar con tramos experimentales que permitieran evidenciar y validar éste comportamiento, tramo al que es ideal además, realizar un seguimiento en el tiempo para garantizar la durabilidad de las aplicaciones con el agregado reciclado AR de RCD.

I.7 ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON CEMENTOS

Por la naturaleza fina de las subrasantes de Bogotá, para las modificaciones químicas es fundamental exigir el análisis de afectación de procesos de humedecimiento y secado, y su relación con durabilidad, más que un valor de resistencia a la compresión. Igualmente se debe solicitar un mínimo porcentaje de adición, garantizando la reducción de plasticidad, control de expansión y la desintegración que se asociará a una resistencia, pero que dicho porcentaje nos sea excesivo pues se incrementan los costos.

Es fundamental que todo proceso de mejoramiento de la subrasante sea acompañado de un diseño y que se realice una verificación después de aplicado el producto, aplicando pruebas in situ que midan el comportamiento carga-deformación y así poder medir la eficiencia respecto a los diseños planteados y la alternativa de no utilización de la misma.

I.8 BASE GRANULAR MEJORADA CON CEMENTO HIDRÁULICO

- Se eliminan el requisito de las cuatro (4) calidades de materiales para los granulares mejorados con cemento hidráulico, ya que se indica que éstos deben cumplir con los requisitos mínimos de calidad indicados para una de las dos (2) calidades de los materiales granulares de Base y Subbase granular.

- Se eliminan las ocho (8) franjas granulométricas para los granulares mejorados con cemento hidráulico, ya que se indica que éstos deben dar cumplimiento a una de las tres (3) curvas granulométricas dentro de la franja indicadas para Bases o Subbases granulares.

- Se elimina el valor máximo para la resistencia a la compresión, y se establecen nuevos valores mínimos, así: 2.5 MPa para Bases y Subbases su mejoradas elaboradas con granulares Clase B (BG_CH-B o SBG_CH-B), y 4.5 MPa para Bases y Subbases su mejoradas elaboradas con granulares Clase A (BG_CH-A o SBG_CH-A), y 4.5 MPa.

En los granulares mejorados con cemento hidráulico, se elimina el valor máximo para la resistencia a la compresión, y se establecen nuevos valores mínimos, así: 2.5 MPa para Bases y Subbases su mejoradas elaboradas con granulares Clase B (BG_CH-B o SBG_CH-B), y 4.5 MPa para Bases y Subbases su mejoradas elaboradas con granulares Clase A (BG_CH-A o SBG_CH-A), y 4.5 MPa.

I.9 BASE GRANULAR MEJORADA CON EMULSIÓN

- Se eliminan el requisito de las tres (3) calidades de materiales para los granulares mejorados con cemento, ya que se indica que éstos deben cumplir con los requisitos mínimos de calidad indicados para una de las dos (2) calidades de los materiales granulares de Base y Subbase granular.

- Se eliminan las dos (2) franjas granulométricas para los granulares mejorados con cemento, ya que se indica que éstos deben dar cumplimiento a una de las tres (3) curvas granulométricas dentro de la franja indicadas para Bases o Subbases granulares.

- Diseño de mezclas de agregados, reciclados o sin reciclar, con emulsión asfáltica, mediante el método de inmersión – compresión (**INV E-622-13**):

  La Base y Subbase mejoradas con emulsión asfáltica no cumplieron con este requisito (valores de 67.2% y 65.8%). Por la importancia en la adherencia entre ligante asfáltico y el agregado para la vida útil de la capa mejorada, no se recomienda modificar éste parámetro (mínimo 75%); en este caso, se deben emplear aditivos mejoradores de adherencia para asegurar el cumplimiento del requisito de resistencia conservada de la mezcla.

I.10 BASE GRANULAR MEJORADA CON CEMENTO ASFÁLTICO

- Se eliminan el requisito de las tres (3) calidades de materiales para los granulares mejorados con cemento, ya que se indica que éstos deben cumplir con los requisitos mínimos de calidad indicados para una de las dos (2) calidades de los materiales granulares de Base y Subbase granular.

- Se eliminan las tres (3) franjas granulométricas para los granulares mejorados con cemento, ya que se indica que éstos deben dar cumplimiento a una de las tres (3) curvas granulométricas dentro de la franja indicadas para Bases o Subbases granulares.

I.11 MATERIALES PARA PISOS DE PUENTE PEATONAL PROTOTIPO PARA BOGOTÁ D.C.

En cuanto a los materiales para pisos de puente peatonal prototipo para Bogotá D.C, se encontró que el de concreto pretensado es el de mayor resistencia a la compresión, pero el más pesado. Igualmente, que el de aluminio es el más liviano, pero son necesarias precauciones con respecto al robo. Finalmente, el de material sintético presenta el menor

desgaste, pero es el más flexible a nivel de deformaciones verticales por tener un módulo de elasticidad bajo.

Se desarrollaron en el presente proyecto las especificaciones técnicas de construcción e instalación de pisos de aluminio y concreto pretensado para tableros de puentes peatonales prototipo para Bogotá D.C. Esto no se hizo para el material sintético y quedó solamente como una especificación técnica para la conservación y reposición de pisos de escaleras, debido a que para este material no existen en la actualidad especificaciones de diseño y/o construcción en la NSR-10 y CCP-14. Como se mencionó anteriormente en el presente documento, para que este material se pueda utilizar en un futuro como piso de tablero de puentes peatonales es necesario investigar su comportamiento estructural mediante proyectos de investigación desarrollados en Universidades o Centros de investigación especializados en este tema y en coordinación con la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), de tal forma haga parte de la NSR-10 y/o CCP-14.

J. RECOMENDACIONES

J.1 MATERIALES

J.1.1 SUELOS DE SUBRASANTE

Es importante observar como la variabilidad de los Módulos de las muestras de subrasante ante las diferentes condiciones de esfuerzo no es tan pronunciada, lo que hace pensar que para un futuro trabajo se puede pensar en definir un criterio de verificación del módulo considerando el valor promedio o mínimo como parámetro de control para verificar la eficiencia de los procesos de estabilización o mejoramiento de subrasantes, pero para estos se requiere al menos verificar con una muestra que involucre un número mayor de suelos (por lo menos 10 suelos diferentes) y un proceso experimental de varias repeticiones que garantice una reducción significativa de incertidumbres debido a proceso de muestreo, manipulación y reconstitución de muestras .

Es fundamental revisar y precisar los diferentes requerimientos para subrasantes, incorporando criterios claros para su reutilización, sobre todo cuando estas correspondan a estructuras de pavimentos antiguas o capas de materiales mejorados, ya que, al no haber claridad para su reutilización, muchas veces estas son desechadas hacia los botaderos remplazándolas por otros materiales, lo que puede significar costos altos para el proyecto.

J.1.2 LIGANTES ASFÁLTICOS

Se recomienda que el cambio de visión de los ligantes, sea impulsado por acercamientos de las entidades encargadas de gestionar la construcción del país con las directivas de ECOPETROL.

J.1.3 AGREGADOS PÉTREOS DE SUBBASE ADICIONADA CON RAP

- Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos **(INV E 126-13).**

  En este tipo de materiales es necesario tener precaución, tanto en la caracterización del material para la fórmula de trabajo (RAP y granulares de aporte), como en los procesos constructivos, con el fin de controlar las calidades de los materiales y evitar contaminarlos en las actividades de disposición en obra y mezclado. Es importante resaltar que la presencia de partículas finas puede reducir significativamente la resistencia a las cargas de los vehículos en las capas de Base granular. Con respecto a esto se considera que el valor especificado para este parámetro no debe ser modificado.

J.1.4 ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON CEMENTOS

En un futuro se requiere de ensayar más tipos de suelos y analizar los cambios de la durabilidad, monitoreando el desempeño de este indicador y analizando el efecto de acuerdo con el máximo número de ciclos que se desarrolle en las subrasantes de la sabana pues el número de ciclos del ensayo está definido de acuerdo con procesos de congelamiento y descongelamiento típicos de zonas con estaciones y no con cambios en niveles capilares por procesos prolongados de lluvia y percolación como ocurre en los niveles superiores de los suelos de la sabana de Bogotá.

J.1.5 MEZCLAS ASFÁLTICAS

- Módulo resiliente (**UNE EN-12697-26**):
  Se recomienda, en futuros estudios, adelantar más ensayos de módulo resiliente sobre distintos tipos de mezclas asfálticas, con distintos materiales granulares y clases de cementos asfálticos o emulsiones asfálticas, con el fin de tener valores de referencia para especificar valores mínimos del módulo resiliente (a 20 °C y 10 Hz).

- Resistencia a la fatiga (**UNE EN-12697-24**):
  Se recomienda, en futuros estudios, adelantar más ensayos de fatiga sobre distintos tipos de mezclas asfálticas, con distintos materiales granulares y clases de cementos asfálticos o emulsiones asfálticas, con el fin de tener valores de referencia para especificar valores mínimos para los parámetros de ley de fatiga a 20 °C y 30 Hz (ε_6, b).

- Ensayo de resistencia a la deformación permanente (**UNE EN-12697-25:2000**):

Se recomienda, en futuros estudios, adelantar más ensayos de deformación plástica sobre distintos tipos de mezclas asfálticas, con distintos materiales granulares y clases de cementos asfálticos o emulsiones asfálticas, con el fin de tener valores de referencia para especificar valores mínimos de deformación. Igualmente, se recomienda realizar ensayos bajo la norma EN-12697-22, con el fin de establecer los criterios de aceptación con base en especificaciones internacionales.

J.1.6 AGREGADOS RECICLADOS OBTENIDOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Es importante además que, para este tipo de materiales, el IDU lleve una trazabilidad de la información de las obras donde se ha y se esta colocando, lo que permitirá contar con información valiosa para fortalecer con experiencias reales los requisitos de las especificaciones.

Se debe profundizar en el análisis de propiedades como la materia orgánica y el contenido de azufre de los agregados reciclados. Se debe estudiar más afondo y con un análisis químico riguroso el tema del contenido de azufre, yeso y los sulfatos solubles para analizar su correlación y lograr definir limitantes, aunque en el ensayo de composición no se observó yeso a simple vista, es posible que el yeso esté presente en el agregado reciclado de concreto, además como sales solubles en los agregados reciclados suele estar el hidróxido cálcico (portlandita) en el agregado de concreto y sulfatos en el agregado reciclado cerámico.

Es conveniente evaluar el comportamiento de agregados reciclados sobre cada uno de los materiales que le componen (agregados de concreto, cerámicos, agregados con asfalto), desde un análisis químico y de durabilidad. Realizando ensayos propios de cada composición, por ejemplo, cuando se analicen agregados reciclados de concreto, es conveniente realizar evaluaciones sobre el mortero adherido.

Se considera que las planatas tienen el reto de mejorar sus procesos para competir tecnologicamente con materiales reciclados que aportan propiedades interesantes a las estructuras civiles. Por ejemplo, el exceso de finos, el contenido de impurezas (madera, plástico, papel, entre otros) puede ser corregido en la planta de valorización mediante procesos mecánicos (pre cribado, lavado, soplado y otros).

El uso de los agregados reciclados tiene amplias aplicaciones en la industria de la construcción (usos ligados y no ligados) para contribuir con el ciclo cerrado de la misma, sin embargo, se requieren mayores esfuerzos en investigación en el laboratorio y aplicada a tramos de prueba, que permitan validar el uso de los agregados reciclados producidos con los RCD de la ciudad del Bogotá.

J.1.7 GEOSINTÉTICOS

Se requiere en la versión futura avanzar en procesos de caracterización de degradación de los diferentes productos geosintéticos, ante exposición a agentes ambientales y a deterioro por daño durante construcción desarrollando procesos experimentales a corto mediano y largo plazo. Verificando si los porcentajes y los tiempos de exposición son acordes con los niveles de exposición a rayos UV que se presentan en la zona de la sabana de Bogotá, que

son muy diferentes a las que se presentan en los países que no están en el trópico donde se definieron los parámetros para el ensayo.

J.2 FUTURAS ESPECIFICACIONES

Como ya en este estudio se lograron clasificar las especificaciones de acuerdo con su nivel de impacto, prioritaria, mayor, menor, para la siguiente etapa de actualización se requiere que el instituto avance en la definición de los riesgos del comprador(instituto) y vendedor (constratista), para poder establecer los niveles de aceptación y recibo de los diferentes productos y materiales tal como se define en la AASHTO R 9-05 (2018) Standard Practice for Acceptance Sampling Plans for Highway Construction", con el objeto de definir los niveles de riesgos de los diferentes niveles de rechazo o aceptación de las especificaciones y poder establecer modelos para definir las curvas de pago y armonizar las especificaciones.

Se desarrollaron en el presente estudio algunas de las especificaciones necesarias para puentes peatonales y vehiculares del Distrito, pero es indispensable para la Entidad, a través de un nuevo estudio de consultoría, contar con especificaciones de construcción para cada uno de los componentes (vigas, pilas, estribos, superficie de rodadura, etc) que hacen parte de estos dos tipos de estructuras.

K. BIBLIOGRAFÍA

PG-3, Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes. España: s.n., 2015. INVIAS

IDU, INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO.

FHWA, The Federal Highway Administration

CCP-14, NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES, ASOCIACIÓN COLOMBIANA D INEGNERÍA SISMICA – AIS.

ASTM American Society for Testing and Materials.

ICONTEC. ICONTEC: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion.

SSPC, The Society for Protective Coating

NACE.National Association of Corrosion Engineers

Contrato IDU 122-2005

Bibliografia sobre agregados reciclados de RCD.

2006, Poon, Chan. Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base. Construction and Building Materials, 20, 578–585.

2008, Vegas, Ibañez, San Jose, Urzelai. Construction demolition wastes, Waelz slag and MSWI bottom ash: a comparative technical analysis as material for road construction. Waste Manage; 28:565–74.

2010. Martínez, Vázquez, González, Martínez. Generation of recycled aggregates and technical requirements for some applications. DYNA, Volumen 77, Número 161, p. 89-97, ISSN electrónico 2346-2183. ISSN impreso 0012-7353.

2011, Ministerio de Medio Ambiente y medio rural y marino, GERD. GEAR Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD.

2011, Ihobe. Uso de áridos reciclados mixtos procedentes de Residuos de construcción y Demolición.

2011, Vegas, Ibañez, Lisbona, Sáez de Cortazar, Frías. Pre-normative research on the use of mixed recycled aggregates in unbound road sections. Construction and Building Materials, 25, 2674–2682.

2012, Jimenez, Ayuso, Agrela, Lopez, Perez. Utilisation of unbound recycled aggregates from selected CDW in unpaved rural roads. Resources, Conservation and Recycling 58, 88–97.

2012, Barbudo, Agrela, Ayuso, Jiménez, Poon. Statistical analysis of recycled aggregates derived from different sources for sub-base applications. Construction and Building Materials 28 (2012) 129–138.

2012, Gobierno Vasco. Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco.

2012, Christian, Engelsen, Wibetoe, Sloot, Lund, Petkovic. Field site leaching from recycled concrete aggregates applied as sub-base material in road construction. Science of the Total Environment 427–428, 86–97.

2012, Herrador, Pérez, Garach, Ordóñez. Use of Recycled Construction and Demolition Waste Aggregate for Road Course Surfacing. Journal of transportation engineering 138(2): 182-190.

2016, Ossa, García, Botero. Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry. Journal of Cleaner Production 135, 379-386.

2016, Agencia de Obra pública de la Junta de Andalucía – Universidad de Córdoba. Catálogo de firmes y unidades de obra con áridos reciclados de residuos de construcción y demolición. UCOPress. ISBN: 978-84-9927-315-0.

2017, Engelsen, Sloot, Petkovic. Long-term leaching from recycled concrete aggregates applied as sub-base material in road construction. Science of the Total Environment, 587–588, 94–101.

2017, Silva, Brito, Dhir. Availability and processing of recycled aggregates within the construction and demolition supply chain: A review. Journal of Cleaner Production 143, 598-614.

2018, Sierra López, García Garrido, Morales Gámiz, García Villena. Catálogo de firmes y unidades de obra con áridos reciclados de Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Carreteras No. 218, p. 26-37

L. CONTROL DE CAMBIOS

En la Tabla 468 se presentan las versiones del informe final de la consultoría.

Tabla 468. Control de cambios

VERSIÓN	FECHA	RAZÓN DEL CAMBIO	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
1	3-05-2018	Se creó el informe final de la consultoría	_____ Paola Santacruz Ingeniera de apoyo	_____ Paola Santacruz Ingeniera de apoyo	_____ Fredy Reyes Director de Proyecto
2	12-06-2018	Correcciones según informe DTE 20182150514571 con fecha de mayo 31 de 2018.	_____ Paola Santacruz Ingeniera de apoyo	_____ Paola Santacruz Ingeniera de apoyo	_____ Fredy Reyes Director de Proyecto
3	05-07-2018	Correcciones según informe DTE 20182150598721 con fecha de junio 25 de 2018	_____ Paola Santacruz Ingeniera de apoyo	_____ Paola Santacruz Ingeniera de apoyo	_____ Fredy Reyes Director de Proyecto
4	30-07-2018	Correcciones según informe DTE 20182150668081 con fecha de julio 16 de 2018	_____ Paola Santacruz Ingeniera de apoyo	_____ Paola Santacruz Ingeniera de apoyo	_____ Fredy Reyes Director de Proyecto

M. ANEXOS

Como anexos para el informe final de consultoría presenta:

M.1 ANEXO 1. Recopilación, revisión y análisis de información documental. (Memoria técnica)

M.2 **ANEXO 2. Muestreo de materiales**

M.2.1 ANEXO 2.1. Plan de muestreo

M.2.2 ANEXO 2.2 Balance de materiales muestreados

M.2.3 ANEXO 2.3 Informes de muestreo de materiales

M.3 ANEXO 3. Ensayos de campo y laboratorio

M.3.1 ANEXO 3.1 Plan de ensayos

M.3.2 ANEXO 3.2 Balance de ensayos ejecutados

M.3.3 ANEXO 3.3 Informes de resultados de ensayos

M.3.4 ANEXO 3.4 Protocolos de ensayos

M.4 ANEXO 4. Actualización de Especificaciones Técnicas IDU ET 2011

M.4.1 ANEXO 4.1 Plan de trabajo

M.4.2 ANEXO 4.2 Especificaciones Técnicas Generales IDU actualizadas

M.4.3 ANEXO 4.3 Especificaciones Técnicas Generales – Versión Practica

M.4.4 ANEXO 4.4 Matriz de control de cambios de las especificaciones

M.4.5 ANEXO 4.5 Atención a comentarios de las especificaciones

M.5 ANEXO 5. Requisitos de calidad

M.5.1 ANEXO 5.1 Plan de calidad